

Code: 2037-72292A

Ref.: AMAT/3032

FEDERAL REPUBLIC OF GERMANY
GERMAN PATENT OFFICE
PATENT NO. 196 54 737 A1
(Offenlegungsschrift)

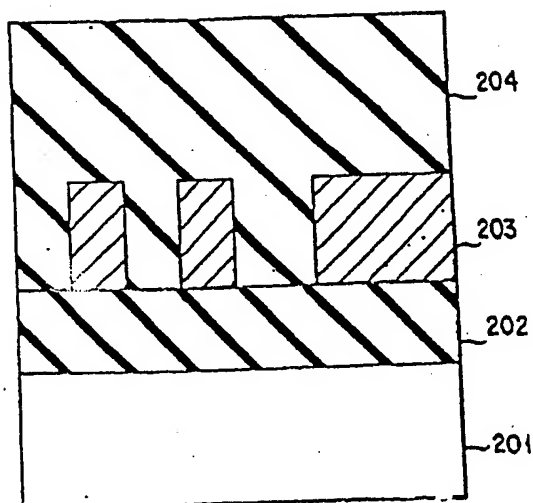
Int. Cl. ⁶ :	H 01 L 21/31 H 01 L 21/489
Application No.:	196 54 737.7
Filing Date:	December 30, 1996
Date Laid-open to Public Inspection:	July 3, 1997
Priority	
Date:	December 28, 1995
Country:	JP
No.:	7-342894
Date:	March 25, 1996
Country:	JP
No.:	8-068830

SEMICONDUCTOR DEVICE AND PROCESS FOR ITS MANUFACTURE

Inventors:	Hitoshi Itoh Kunitachi, Tokyo, JP
	Akiko Nara Yokohama, JP
	Makoto Nagamina, Yokohama, JP
Applicant:	Toshiba Corp. Kawasaki, Kanaga, JP
Agent:	Eitle Hoffmann 81925 Munich

Examination request according to § 44 of the Patent Act has been filed

The present invention concerns a semiconductor device comprising a substrate 201 and at least one intermediate-layer insulation film 204 or one passivation-insulation film, each of which is formed on the substrate 201 and contains silicon, oxygen, carbon, and hydrogen, where the carbon content is greater than the silicon content. The insulation film has a dielectric constant of 1.8 to 3.2 and is viscous at room temperature, wherein it has a viscosity from 100-300,000 cps at room temperature.



The present invention concerns a semiconductor device and a process for its manufacture; in particular, the present invention concerns an insulation film such as an intermediate-layer insulation film or a protective insulation film (a passivation film) of a semiconductor device.

For some time, large-scale integrated circuits (LSI), comprising circuits that are composed of a large number of transistors and resistors, have been formed on individual chips, which are extensively used in critical areas of computers or telecommunications systems. It can therefore be said that the performance of such systems is strongly influenced by the performance of the individual LSI unit.

The performance of the LSI unit can be increased by raising the degree of integration, i.e., through miniaturizing each element in the LSI unit individually. However, there are various problems in the manufacturing process for miniaturization.

If, e.g., an aluminum-alloy conductor is taken as an example, there has been a clear advance in the miniaturization of the width of the conductor and the intermediate space between the conductors. In regard to the thickness of the conductor, however, only a moderate advance has been achieved in making the conductor thinner. If a silicon dioxide film is formed in order to cover an aluminum-alloy conductor, the grooves between the conductors may therefore not be filled completely with the silicon dioxide film, in which case holes are left in the insulation film. These holes can cause a residue of H_2O in the insulation film, which in turn causes corrosion of the aluminum-alloy conductor, since this H_2O residue gets from the insulation film to the aluminum-alloy conductor.

Conventional silicon-oxide films likewise have the problem that, because of the inherent tension of the film or a large thermal tension in the film, the phenomenon of thermal migration is induced, whereby a detachment of the aluminum-alloy wire is caused.

A process for coating spin-on-glass (SOG) and the thermal hardening thereof is known as a process for filling a fine groove between the conductors with an insulation material while avoiding the formation of holes.

In this process, the SOG must have a low viscosity, in order for a fine groove to be filled sufficiently with the SOG. However, the use of an SOG with a low viscosity has the problem that large shrinkage in volume occurs when it is then hardened thermally, whereby cracks are generated in the SOG, and that it is difficult to remove water from it adequately. The problem of corrosion of an aluminum-alloy conductor in the subsequent steps remains unsolved in this process.

On the other hand, in order to obtain a semiconductor device of the next generation with a higher operating speed, the intermediate-layer insulation film to insulate the aluminum-alloy conductors from each other must have a lower dielectric constant than the intermediate-layer

insulation film used at present. In order to meet this requirement, the use of a silicon dioxide film to which fluorine has been added (fluorine-containing silicon dioxide film) is promising.

However, when the fluorine concentration is increased in order to lower the dielectric constant, the film becomes more hygroscopic, in which case the problem arises that water can be released from the fluorine-containing silicon dioxide film, whereby its properties as an intermediate-layer insulation film are worsened or corrosion of the aluminum-alloy conductors is made possible.

When a silicon dioxide film is used as an intermediate-layer insulation film, it is difficult, as explained above, to fill a fine groove placed laterally between the conductors in a satisfactory manner without causing holes to be formed, since the shape of the silicon dioxide film contained in it has defects. Water therefore remains in the intermediate-layer insulation film, whereby corrosion of the conductors is caused.

In order to solve these problems, a process for filling a fine groove between the conductors with a low-viscosity SOG and with subsequent thermal hardening has been recommended, as mentioned above. However, the use of an SOG with a [low] viscosity has the problem that during thermal hardening a large shrinkage in volume occurs, in which case the creation of cracks is induced in the SOG, and in addition, it is difficult to remove water from it adequately. Therefore, the problem of corrosion in a conductor during the next step is also not solved by this process.

On the other hand, the use of a fluorine-containing silicon dioxide film to produce a semiconductor device of the next generation, with a high operating speed is seen as promising. However, when the fluorine concentration is raised in order to lower the dielectric constant of the film, the film becomes more hygroscopic, which causes the problem that water can be released from the fluorine-containing silicon dioxide film during the manufacturing process, whereby its properties as an intermediate-layer insulation film are worsened or corrosion of the aluminum-alloy conductors results.

Accordingly, one goal of the present invention is to provide a semiconductor device that is provided with an insulating film that can effectively fill a fine groove.

Another goal of the present invention is to specify a method of producing a semiconductor device provided with an insulation film that is effective in covering a fine groove.

Another goal of the present invention is to provide a process for producing a semiconductor device that is provided with an insulation film that is suitable for use at least as an intermediate-layer insulation film or passivation layer that is more ideal in regard to shape in the embedded state and has a lower dielectric constant and is less hygroscopic than conventional insulation films.

Another goal of the present invention is to provide a semiconductor device that is provided with an insulation film suitable for use as an intermediate-layer insulation film that is more ideal in regard to shape in the embedded state and has a lower dielectric constant and lower thermal tension than conventional films.

Another goal of the present invention is to provide a semiconductor device that is provided with an insulation film suitable for use as an intermediate-layer insulation film that is ideal in regard to shape in the embedded state (high degree of coverage) and gives hardly any adverse effect on the next step (e.g., a step for forming a contact hole or a step for forming a conductor) in comparison with conventional insulation films.

Another goal of the present invention is to provide a process for producing a semiconductor device that has the ideal characteristics mentioned above.

According to the invention, a semiconductor device is provided that includes: a substrate and at least one intermediate-layer insulation film or a passivation film, each formed on the substrate, containing silicon, oxygen, carbon, and hydrogen, whereby the carbon content is not less than the silicon content.

According to the invention, a semiconductor device is also made available that includes: a substrate and at least one intermediate-layer insulation film or a passivation film, wherein each is formed on the substrate and contains silicon, oxygen, carbon, and hydrogen, and is viscous at room temperature, wherein its viscosity is 100 cps to 300,000 cps at room temperature.

According to the invention, a semiconductor device is also made available that includes a semiconductor substrate that carries an element; a first insulation film formed on the semiconductor substrate; a number of conductors, wherein at least one of the conductors is connected electrically to the element through a contact hole; a second insulation film, which is formed on the conductors and the first insulation film where conductors have not been formed and which contains silicon, oxygen, carbon, and hydrogen, wherein the carbon content is not less than the silicon content; and a third insulation film, which is formed on the second insulation film and is of a material that differs from the material from which the second insulation film is made.

According to the invention, a semiconductor device is also made available that includes a semiconductor substrate; a first conducting film, which is formed on the semiconductor substrate; and a second conducting film, which is formed on the insulation film in such a way that it is in electrical contact with the first conducting film through the contact hole, wherein a region of the insulation film in the neighborhood of a boundary surface with the second conducting film, except for a region at the contact hole, is constructed in such a way that it has a viscosity of 10,000 cp or higher and wherein the rest of the insulation film, except for the region

in the neighborhood of the boundary surface between it and the second conducting film, is constructed in such way that it has a viscosity of less than 10,000 cp.

According to the invention, a process is also provided for producing a semiconductor device, including these steps: forming a first insulation film on a semiconductor substrate that carries an element; forming a contact hole in the first insulation film; forming a number of conductors on the first insulation film, wherein at least one of the many conductors is in electrical contact with the element through the contact hole; forming a second insulation film on the first insulation film, where the conductors have not been formed, in such a way that the space between the conductors is covered, and wherein the second insulation film contains silicon, oxygen, carbon, and hydrogen, wherein the carbon content is not less than the silicon content; and forming a third insulation film on the conductors and on the second insulation film, wherein the third insulation film is made of a material that differs from the material of which the second insulation film is made.

According to the invention, a process is also provided for producing a semiconductor device, including these steps: forming a first conducting film on a substrate; forming an insulation film with a viscosity of less than 10,000 cp, by means of which the first conducting film is covered; performing a viscosity-increasing treatment, by means of which the viscosity of a surface layer of the insulation film is increased to not less than 10,000 cp; and forming a second conducting film on the insulation film in such a way that it is in electrical contact with the first conducting film.

According to the invention, a process is also provided for producing a semiconductor device, including these steps: forming a first conducting film on a substrate; forming a insulating film with a viscosity of less than 10,000 cp, wherein the first conducting film is covered; forming a second insulation film with a viscosity of not less than 10,000 cp on the first insulation film; and forming a section conducting film on the second insulation film in such a way that it is in electrical contact with the first conducting film;

Additional goals and advantages of the present invention will be explained on the basis of the following description and will partly become clear on the basis of the description or can be understood by implementing the present invention. These goals and advantages of the invention can be realized and obtained in particularly through the characteristics given in the attached patent claims and combinations thereof.

The attached drawings, which constitute a part of the description and are contained therein, explain preferred embodiment examples and serve, together with the general description given above and the detailed description given below, to clarify, in addition to these preferred embodiment examples, the principles of the present invention.

Figure 1 is a schematic diagram that shows the structure of a semiconductor device that is used according to a first example of the present invention;

Figure 2 is a schematic diagram that shows that structure of a nitrogen-gas supply system;

Figures 3A and 3B each show sections through a semiconductor device that explain a second example according to the production process;

Figure 4 is a schematic diagram that shows the structure of a semiconductor device that is used in a third example of the present invention;

Figures 5A through 5C each show a section through a semiconductor device, wherein the production process according to a third example of the present invention is explained;

Figure 6 is a diagram that explains the dependency of the film thickness of an insulation film on the lower layer;

Figures 7A through 7C each show a section through a semiconductor device, wherein the production step corresponding to a fourth example of the present invention is explained;

Figure 8 is a cross section through a semiconductor device corresponding to a fifth example of the present invention;

Figure 9 is a schematic diagram that show the structure of a semiconductor device that is used according to a fifth example of the present invention;

Figures 10A through 10C each show a cross section through a semiconductor device, wherein the production step corresponding to a fifth example of the present invention is explained;

Figure 11A shows a cross section through a semiconductor device, wherein a process to prevent deformation of a soft passivation layer according to the present invention is explained; and

Figure 11B shows a schematic plan view, wherein a process for preventing deformation of a soft passivation layer according to the present invention is explained.

A semiconductor device corresponding to a first embodiment example of the present invention is characterized by the use of an insulation film with low viscosity as an intermediate-layer insulation film and/or a protection-insulation film (passivation film).

This insulation film includes silicon, oxygen, carbon, and hydrogen, whereby the carbon content is not less than the silicon content. For example, the atomic ratio of carbon to silicon in this insulation film should preferably be from 1.0 to 3.0, more preferably, from 1.0 to 2.0. If the carbon content is higher than the silicon content, the insulation film is more viscous.

The insulation film according to the invention has a viscosity between 100 and 300,000 cps, more preferably from 1000 to 10,000 cps, at room temperature. In this case, "room temperature" means a temperature range of about 15-30°C.

If the viscosity of the insulation film is less than 100 cps, the insulation film cannot be used for a multi-layer intermediate circuit. On the other hand, if the viscosity of the insulation film exceeds 300,000 cps, holes may be formed in the insulation film when it is embedded in a fine groove.

Insulation films according to the invention should preferably have a dielectric constant from 1.8 to 3.2, more preferably 1.0 to 2.5.

Specific examples of the insulation film according to the present invention as those that have a backbone chain selected from the group consisting of the following formulas 1-5:



where R_1 is $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}$ (where n denotes a positive integer);



where R_1 is $-\text{O}-\text{C}_n\text{H}_{2n+1}$ (where n denotes a positive integer);



where R_1 is $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}$ (where n denotes a positive integer) and R_2 is $\text{C}_m\text{H}_{2m+1}$ (where m denotes a positive integer), where n differs from m ;



where R_1 is $-\text{O}-\text{C}_n\text{H}_{2n+1}$ (where n denotes a positive integer) and R_2 is $-\text{O}-\text{C}_m\text{H}_{2m+1}$ (where m denotes a positive integer), where n differs from m ; and



where R_1 is $-\text{O}-\text{C}_n\text{H}_{2n+1}$ or $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}$ (where n is a positive integer); R_2 is $-\text{O}-\text{C}_m\text{H}_{2m+1}$ or $\text{C}_m\text{H}_{2m+1}$ (where m is a positive integer), where n differs from m and where at least one of R_1 and R_2 is connected by $-\text{O}-$ to R_1 or R_2 belonging to the other backbone chain.

If the insulation film corresponding to this example is formed over a large surface, a circuit column consisting of a metallic material or insulation material, which differs from the material of which the insulation film is made and is resistant to flow and deformation of the insulation film, can be formed in the insulation film. By providing such a circuit column, deformation of the insulation film can be suppressed.

It is likewise possible to suppress deformation of the insulation film, even if tension is applied to the insulation film, by making the viscosity of the surface region of the insulation film according to this embodiment example higher than that of the inner region of the insulation film.

The insulation film according to the first embodiment example of the present invention has an excellent property in that it is inert and cannot release water at a temperature below 650°C. The insulation film corresponding to the first embodiment example can be formed by a CVD process. This CVD process should preferably be implemented in such a way that the temperature of the substrate is set to a temperature that is higher than the melting point and lower than the boiling point of a gaseous starting material or an intermediate product that can be formed by a reaction of the starting material in a vapor phase.

It has been established that when the carbon content in the insulation film corresponding to this embodiment example, which contains silicon, oxygen, carbon, and hydrogen, is higher than the silicon content, the insulation film becomes viscous at room temperature (viscosity from 100-300,000 cps), so that the shape of the insulation film can be improved when it is embedded in a fine groove.

For example, it has been established that the insulation film corresponding to this example embodiment can fill a groove with a high length ratio of more than 1, without the usual holes being able to be concealed in it. The insulation film with such a viscosity, containing silicon, oxygen, carbon, and hydrogen, likewise has a low dielectric constant and is less hygroscopic. For example, the dielectric constant of the insulation film can be set in the range 1.8-3.2. It has likewise been established that the insulation film corresponding to this embodiment example is thermally stable and cannot release water at a temperature below 650°C.

In the semiconductor device of this embodiment example, in which the above-mentioned insulation film is used as an intermediate-layer insulation film or passivation film, it is possible to create an intermediate-layer insulation film or a passivation film that is excellent in regard to the embedded shape and has a low dielectric constant and is less hygroscopic. Since the insulation film corresponding to this embodiment example is very viscous, thermal tension can be minimized.

The semiconductor device corresponding to the second embodiment example of the present invention is characterized by the fact that it includes: a semiconductor substrate that carries an element; a first insulation film, formed on the semiconductor substrate; a number of conductors, wherein at least one of the conductors is connected electrically to the element; a second insulation film, formed on the conductors and on the first insulation film where conductors have not been formed and containing silicon, oxygen, carbon, and hydrogen, wherein the carbon content is higher than the silicon content; and a third insulation film formed on the second insulation film and made from a material that differs from the material from which the second insulation is made.

The semiconductor device corresponding to the second embodiment example of the present invention can be produced by a process that includes the steps: formation of a first

insulation film on a semiconductor substrate that carries an element; forming a contact hole in the first insulation film; forming a number of conductors in the first insulation film, wherein at least one of the many conductors is connected electrically to the element through the contact hole; forming a second insulation film on the first insulation film where conductors have not been formed in such a way that the space between the conductors is filled, where the second insulation film contains silicon, oxygen, carbon, and hydrogen, wherein the carbon content is higher than the silicon content; and forming a third insulation film on the conductors and on the second insulation film, wherein the third insulation film is made from a material that differs from the material from which the second insulation film is made.

The second insulation film corresponding to this embodiment example can be formed by means of a CVD process, wherein an organic silane and oxygen in an excited state are used as starting materials and a substrate temperature of -70°C to 50°C is set.

The expression "a material that differs from the material that forms the second insulation film" means cases in which the elements that make up the material are the same, but differ in the composition, as well as cases in which the elements that make up the material differ from one another.

The film thickness of the third insulation film, which is formed onto the second insulation film, should preferably be thinner than the film thickness of the third [sic; second] insulation film that is formed on the upper surface of the first insulation film that is provided between the conductors.

The first and third insulation films should preferably be silicon dioxide films.

Since the insulation film corresponding to the first embodiment example of the present invention is used as a second insulation film (an intermediate-layer insulation film) in the semiconductor device according to the present invention, it is possible to obtain a semiconductor device with a second insulation film (an intermediate-layer insulation film) that is excellent in regard to the embedded form and has a low dielectric constant and is less hygroscopic, as well as a process for producing such a semiconductor device.

If the above-mentioned second insulation film (an intermediate-layer insulation film) is formed on a conductor such as an aluminum conductor, the conductor can be prevented from being subject to a large thermal tension, wherein the generation of tension migration can be effectively prevented.

Since the third insulation film, which is made from a different material than the one used for the second insulation film, is formed on the second insulation film, any incompatibility effect resulting from the second insulation film can be prevented. If, e.g., the same material as in the conventional intermediate-insulation film is used as the third insulation film, an upper conductor

(4) The step of increasing the viscosity of the surface layer of the insulation film to not less than 10,000 cp is performed by irradiating the insulation film with an infrared-radiation source with a wavelength of 2.6-3.5 μm .

(5) The step of increasing the viscosity of a surface layer of an insulation film to not less than 10,000 cp is performed by irradiating the insulation film with an ultraviolet-radiation source with a wavelength from 142-380 nm.

(6) The step of increasing the viscosity of a surface layer of the insulation film to not less than 10,000 cp is performed by subjecting the insulation film to microwave radiation in an atmosphere of a gas that is made up of at least one oxygen-containing molecule, an atmosphere of an inert gas, or an atmosphere at reduced pressure.

(7) The step of increasing the viscosity of a surface layer of the insulation film to not less than 10,000 cp is performed by heating the substrate that carries the insulation film at a heating rate of 10 $^{\circ}\text{C}/\text{s}$ and by maintaining the heating temperature at 450 $^{\circ}\text{C}$ or less.

(8) The step of increasing the viscosity of a surface layer of the insulation film to not less than 10,000 cp is performed by heating the substrate that carries the insulation at a heating rate of 10 $^{\circ}\text{C}/\text{s}$, whereby the surface layer of the insulation film is heated to a temperature in the range 450 $^{\circ}\text{C}$ -700 $^{\circ}\text{C}$.

(9) A system is used that is capable of performing continuously, without leaving the vacuum state, the step of forming an insulation film with a viscosity of less than 10,000 cp to cover the first conducting film and the step of increasing the viscosity of a surface layer of the insulation film to not less than 10,000 cp.

(10) The system of the above-mentioned embodiment 9 is constructed so that the above-mentioned step of continuous performance can be performed in the same vacuum container, without breaking the vacuum state.

(11) In the above-mentioned embodiment example 1, the insulation film used is one formed by a CVD process.

(12) In the above-mentioned embodiments 2-8, formation of the insulation film is achieved by a CVD process.

(13) In the above-mentioned embodiments 9-10, formation of the insulation film is achieved by using a CVD system.

(14) In the above-mentioned embodiment 1, a region of the insulation film is placed in the neighborhood of a boundary surface between it and a region of the second insulation film located at a side wall of the contact hole, constructed in such a way that the inequality $d_{\text{max}} \leq 0.1 t_{\text{max}}$ is satisfied, where t_{max} denotes a maximum film thickness and d_{max} denotes a maximum distance from the boundary surface with the second conducting film to the region of the insulation film arranged in the neighborhood of the intermediate surface.

(15) In the above-mentioned embodiment 1, a region of the insulation film is arranged in the neighborhood of a boundary surface between it and a region of the second conducting film located at a side wall of the contact hole, constructed in such a way that the following inequality is satisfied: $10 \text{ nm} \leq d_{\text{max}} \leq 100 \text{ nm}$, where d_{max} denotes a maximum distance from the boundary surface between it and the second conducting film to the region of the insulation film arranged in the neighborhood of the boundary surface.

(16) In the above-mentioned embodiment 1, a region of the insulation film is arranged in the neighborhood of a boundary surface between it and a region of the second conducting film located at a side wall of the contact hole, constructed so that the inequality $d_{\text{max}} \leq 0.1 t_{\text{max}}$ is satisfied, where t_{max} is the maximum film thickness of the insulation film and d_{max} is the maximum distance from the side wall of the contact hole to the insulation film.

(17) In the above-mentioned embodiment example 1, a region of the insulation film is provided in the neighborhood of a boundary surface between it and the second conducting film located at a side wall of the contact hole, constructed so that the inequality $10 \text{ nm} \leq d_{\text{max}} \leq \text{nm}$ is satisfied, where d_{max} denotes the maximum distance from the side wall of the contact hole to the insulation film.

(18) In the above-mentioned embodiments 2-8, 9, and 10, the surface layer of the insulation film is constructed so that the inequality $d_{\text{max}} \leq 0.1 t_{\text{max}}$ is satisfied, where t_{max} denotes the maximum film thickness of the insulation film and d_{max} the maximum distance from the surface of the insulation film to the surface layer of the insulation film.

(19) In the above-mentioned embodiments 2-8, 9, and 10, the surface layer of the insulation film is constructed so that the inequality $10 \text{ nm} \leq d_{\text{max}} \leq 100 \text{ nm}$ is satisfied, where d_{max} denotes the maximum distance from the surface of the insulation film to the surface layer of the insulation film.

(20) As a system for producing a semiconductor device including a first conducting film, an insulation film provided with a contact hole, constructed so that the first conducting film is covered, and a second conducting film formed on the insulation film, that it is in electrical contact with the first conducting film through the contact hole, a system is used that is capable of performing continuously, without breaking the vacuum state, the step of forming a first insulation film with a viscosity of less than 10,000 cp to cover the first conducting film and the step of forming a second insulation film with a viscosity of not less than 10,000 cp.

(21) In the above-mentioned embodiment example 20, the above-mentioned step of continuously performance is performed, without breaking the vacuum state, in the same vacuum container.

(22) The viscosity-increasing treatment is performed before and/or after the step of forming a contact hole for electrically connecting the first conducting film and the second conducting film.

The viscosity-increasing treatment should preferably be performed before the step of forming a contact hole, in view of the formation of a resistance pattern with an excellent shape and forming a contact hole with an excellent shape. If the viscosity-increasing treating is performed after the formation of the contact hole, the viscosity-increasing treatment also has an effect on the side wall of the contact hole, so that the worsening of properties due its being subjected to subsequent deposition plasma can be prevented.

As explained above, in the semiconductor device according to the third embodiment example of the present invention, it is not the entire insulation film that has a low viscosity, rather, the portion of the insulation film onto which the upper second conducting film is formed has an increased viscosity, so that it is possible to obtain an insulation film that is excellent in comparison with the conventional insulation film in regard to the embedded shape in a groove and at the same time minimizes any bad effects on the next processes (e.g. in forming a contact hole or forming a conductor).

It is known that it is possible to form an insulation film with lower viscosity, which has a lower dielectric constant, and is less hygroscopic (corresponding to an insulation film with a viscosity of less than 10,000 cp according to the present invention) by using a deposition CVD process.

However, when a metallic film is used as a conductor, onto which an insulation film with such a low viscosity is formed by means of a deposition process such as magnetron deposition, the surface of the insulation film is damaged by the plasma used in the deposition.

As a result, some of the chemical bonds of a molecule composing the insulation film may be split or an irregular boundary surface can be formed between the insulation film and a conductor to be formed onto it (corresponding to the second conducting film of the present invention), whereby various problems can be caused, such as the generation of a leakage current between a pair of conductors arranged on both sides of the insulation film (corresponding to the first and the second conducting films of the present invention) or a disturbance to the insulation film.

If, however, a region of the insulation film, onto which the upper second conducting film has been condensed, has a high viscosity, as in the third embodiment example of the present invention, the damage to the surface of the insulation film by the plasma can be minimized, in which case it is possible to prevent effectively a disturbance to the insulation properties of the insulation film.

Also, if a through-hole is formed to connect the upper conductor with the lower conductor in an insulation film of lower viscosity, the position and the shape of the through-hole can become unstable because of deformation of the insulation film. If the viscosity of one part of the insulation film is increased, as recommended by the present invention, such a problem involving a through-hole can be avoided.

The present invention will be explained with reference to various characteristics shown in the drawings.

(Example 1)

Figure 1 is a schematic diagram of a semiconductor device used according to a first example of the present invention.

In Figure 1, reference number 1 denotes a vacuum container, to which an exhaust system (not shown) is connected through an outlet opening 2. This vacuum container 1 is evacuated to a vacuum of 2×10^{-7} torr or higher. A substrate-attachment table 3, made of stainless steel, is arranged inside the vacuum container 1, and a silicon substrate 4 is provided on this substrate-attachment table 3.

The vacuum container 1 is also connected to various tubes for the introduction of various gases into the vacuum container 1. One tube 5 of stainless steel, for the introduction of oxygen gas, one tube 15 of stainless steel for the introduction of tetramethylsilane ($\text{Si}(\text{CH}_3)_4$, denoted simply by TMS in the following), and one tube 30 of stainless steel, for the introduction of nitrogen gas, are connected to the vacuum container 1. Tube 5, for the introduction of oxygen gas (for simplicity, an oxygen supply system is omitted in Figure 1), is connected to a stop valve 6, a mass-flow control device 7, a stop valve 8, and a connector 9. The distal end region of the oxygen supply tube 5 is connected to an Al_2O_3 tube 11.

This Al_2O_3 tube 11 is connected to the vacuum container 1 through a connector 12 and is provided, in an intermediate region thereof, with a hollow space 10 for microwave discharge. The microwave source and the microwave supply system for the microwave discharge are omitted in Figure 1.

Tube 15, for the introduction of TMS (a TMS-supply system is omitted in Figure 1 for reasons of simplicity) is provided with a stop valve 16, a mass-flow control device 17, a stop valve 18 and a tube 19 of stainless steel, which is connected to the vacuum container 1.

The nitrogen gas supplied through tube 30 (the nitrogen gas supply device is omitted from Figure 1 for simplicity) is used to set the pressure in the vacuum container 1, i.e., to set the internal pressure of the vacuum container 1 to atmospheric pressure when the silicon substrate 4 is inserted into vacuum container 1, or removed, or to shorten the time required for restoring the

cooled temperature of the silicon substrate 4 to room temperature. This nitrogen gas can be used to set the internal pressure of the vacuum container 1 during deposition of a silicon dioxide film onto the silicon substrate 4.

Tube 30 is provided with a stop valve 31, a mass-flow control device 32, a stop valve 33, and a tube 34 of stainless steel, which is connected to the vacuum container 1.

The substrate-attachment table 3 is provided with copper tubes 35a and 35b for cooling or heating the substrate-attachment table 3 (copper tube 35a denotes a tube that is arranged on the gas-inlet side, while copper tube 35b denotes a tube that is arranged on the gas-outlet side), where these copper tubes 35a and 35b are concealed within the substrate-attachment table 3. These copper tubes 35a and 35b are connected to the nitrogen-supply system for the introduction of cooled nitrogen gas or nitrogen gas at room temperature, as shown in Figure 2.

With reference to the nitrogen supply system shown in Figure 2, reference number 101 denotes a tube for the introduction of nitrogen gas, which is connected to a nitrogen supply system (not shown). This tube 101 is provided with a stop valve 102, a mass-flow control device 103, and stop valves 104 and 105, and the distal end region of tube 101 is connected to tube 35a to cool or heat the substrate-attachment table 3, shown in Figure 1.

To this tube 101, a pair of branching tubes 106 and 109 are connected, which branch from the inlet side and the outlet side of stop valve 105. Branching tube 106 is connected to a stop valve 107 by a spiral tube 108, which is connected in turn to a stop valve 110 by a branching tube 109, which is connected to tube 35a, shown in Figure 1.

The spiral tube 108 is immersed in liquid nitrogen 112, which is filled into a container 111 for liquid nitrogen, in order for the nitrogen gas that flows through the spiral tube 108 to cool to a temperature that corresponds approximately to the temperature of the liquid nitrogen.

If the silicon substrate 4 is to be cooled, the nitrogen gas can flow through the spiral tube 108. On the other hand, if the temperature of a silicon substrate 4 that has been cooled in this manner is to be raised again to room temperature after formation of a silicon dioxide film, valve 105 is opened to introduce nitrogen gas at room temperature into tube 35.

By introducing nitrogen gas under control of the mass-flow control device and by cooling the liquid nitrogen gas, from tube 35a to tube 35b, the substrate-attachment device 3 and the silicon substrate 4 can be cooled down to a desired temperature.

Again with reference to Figure 1, the substrate-attachment table 3 is also provided with a housing heater 36, which functions as a heating source for heating the silicon substrate 4 to a desired temperature. The energy source for this housing heater 36 is omitted from Figure 1.

The wall of the vacuum container 1 is formed from a two-layer structure and provided with a heating source 41 to heat the wall and a heat-insulation material 42. The temperature of

the wall of vacuum container 1 is set in this example to 80°C. The energy source of the heating source 41 is omitted in Figure 1.

Next, a process for forming an intermediate-layer insulation film using the semiconductor fabrication system with the above-mentioned structure will be explained.

First, the inside of the vacuum container 1 is set to atmospheric pressure, and a silicon substrate 4 carrying the desired element is attached to a substrate-attachment table 3. In this case, an evacuated auxiliary chamber is provided, by means of which the silicon substrate 4 can be moved automatically to the vacuum container, in which process a robot arm is used. Then the inside of the vacuum container is set by means of the outlet opening 2 to a final vacuum, whereby a vacuum of at least 1×10^{-7} torr should be set in this case.

Then a cooled nitrogen gas can be introduced through a passage between copper tube 35a and copper tube 35b, by which means the substrate-attachment table 3 can be cooled to a particular temperature from about -100°C to -25°C. When the substrate-attachment table 3 has been cooled down to the above-mentioned temperature range, the temperature of the silicon substrate 4 (substrate temperature) is -80°C to -25°C. After it has been confirmed that the substrate temperature has been stabilized to the desired temperature, mass-flow control device 17 for TMS is set to 1-100 cm³/min and stop valves 16 and 18 are opened to introduce TMS into the vacuum container 1.

Mass-flow control device 10 for nitrogen gas is set to 1-1000 cm³/min and stop valves 6 and 8 are then opened to introduce oxygen gas into the vacuum container 1. In this case, the pressure in vacuum container 1 can be about 10 mtorr to about 500 torr by changing the conductance of the outlet opening 2, whereby the partial pressure is 2-200 torr for TMS and 2-400 torr for nitrogen gas.

After the nitrogen flow rate has stabilized, microwave radiation of about 100 W to 5 kW is applied, in order thereby to induce microwave discharge of the nitrogen gas. By defining the time when the microwave discharge is initiated as the start of the film deposition, the time of the film deposition is selected appropriately in order thereby for an intermediate-layer insulation film consisting of a compound including silicon, oxygen, carbon, and hydrogen to be deposited on the silicon substrate 4.

The above-mentioned deposition can be ended in the following manner.

First, the microwave power is turned off, in order to stop the microwave discharge. The time of this shutoff is defined as the end of the deposition time. Then stop valves 28 and 18 are closed to stop the supply of TMS, and after this stop valve 8 is closed to stop the supply of oxygen gas. Then the supply of cooling nitrogen gas flowing between tube 35a and tube 35b is stopped in the same way, and thereby nitrogen gas at room temperature can flow into the vacuum container 1.

In this case, the mass-flow control device 32 for nitrogen gas is set to 1-10 L/min and stop valves 31 and 32 [sic; 33] are opened to introduce nitrogen gas from tube 34 into the vacuum container 1 in order to set the inside of the vacuum container 1 to a pressure of approximately atmospheric pressure and at the same time to raise the temperature of the silicon substrate 4 back to room temperature.

Finally, the vacuum container 1 is set to atmospheric pressure and the silicon substrate 4 is removed from the vacuum container 1. If desired, the next silicon substrate can be attached to the substrate-attachment table 3 at this time. A series of processes of forming an intermediate-layer insulation film is completed in this way.

As explained above, an insulation-layer insulation film is formed according to this example that contains silicon, oxygen, carbon, and hydrogen, whereby the carbon content is greater than the silicon content. It has been established that when the carbon content is greater than the silicon content in a film containing silicon, oxygen, carbon, and hydrogen, the resulting insulation film becomes viscous at room temperature, in which case it is possible to improve the degree of coverage of the insulation film. It has likewise been established that a viscous insulation film of this type, consisting of a compound containing silicon, oxygen, carbon, and hydrogen, has a lower dielectric constant and is also less hygroscopic.

It is therefore possible, according to the invention, to obtain an intermediate-layer insulation film or an insulation-protection film that is excellent in regard to degree of coverage and both has a low dielectric constant and is less hygroscopic.

(Example 2)

Figures 3A and 3B show cross sections that explain the production of a semiconductor device according to a second example of the present invention.

Figure 3A shows a schematic cross section through a silicon substrate 201 before an intermediate-layer insulation film has been deposited thereon. After a silicon dioxide film 202 has been formed on the silicon substrate 201, which was previously provided with an insulated element region, the silicon dioxide film 202 is selectively etched away from a contact hole, and then a 1% Al, 0.5% Si Cu film (called simply an aluminum alloy film in the following) is deposited and etched, which functions as a connecting element 203, whereby a desired conductor pattern is formed, as shown in Figure 3A.

Next, the silicon substrate 201 is placed on the substrate-attachment table 3, which is provided in the vacuum container 1 of a semiconductor fabrication system of the same type as in the above-mentioned example 1, and the same procedure is repeated as shown in example 1 to

form an intermediate-layer insulation film 204 over the entire surface of the substrate 201, as shown in Figure 3B.

More specifically, the intermediate-layer insulation film 204 is formed under the following film-formation conditions: TMS-flow rate 20 cm³/min, oxygen-gas flow rate 200 cm³/min, deposition pressure 0.2 torr, microwave power 200 W, substrate temperature 30°C, and deposition time 2 min. Under these film-formation conditions, the deposition rate of the intermediate-layer insulation film 204 is about 0.5 μm/min.

If the sample obtained under these conditions is observed by means of a scanning electron microscope (SEM), it is established that the intermediate-layer insulation film 204 has been deposited into the entire groove between the connection conductors 203 in the same manner as when a cup is filled with a liquid, i.e., no holes at all exist in the intermediate-layer insulation film 204 in the groove.

In another experiment performed by this inventor, an insulation film was formed on the flat surface of a silicon substrate, corresponding to the same procedure as above, and the resulting insulation film was analyzed by means of a transmission process using a Fourier-transform infrared spectrometer.

As a result, the absorption peaks that could be observed were a oscillation peak of Si - O - Si and an absorption peak of Si - CH₃. The ratio of the Si - CH₃ to the Si - O - Si was 10-50 %.

Because of the imprecision of the detection sensitivity, it may be impossible to derive the concentration of each component directly from this data. If, however, the entire insulation film is dissolved by using a chemical wetting process, and the resulting solution is studied by means of an atom-absorption process, it is established that the composition ratio for carbon (C) to silicon (Si) is about 1:1 to 30:1, which in any case indicates a greater carbon content in comparison with silicon.

If the final vacuum in the vacuum container 1 is relatively low, an H₂O peak appears in every experiment. The final vacuum of the vacuum container 1 should therefore preferably be as high as possible.

It can be said that the above-mentioned insulation film or intermediate-layer insulation film 204 is an insulation oil with high viscosity rather than an insulation film, since it has been established that the viscosity of the insulation film is 100-3000 cps. On the other hand, it has been established that the dielectric constant of the insulation film was about 1.8 to 3.2.

If the hygroscopic nature of the insulation film or the intermediate-layer insulation film 204 is studied by passing atmospheric air through it, water absorption hardly appears.

Moreover, if the insulation film or intermediate-layer insulation film 204 is heated to 650°C in vacuum and the gases released from it are measured using a mass spectrometer to study

the thermal stability of the film, a small amount of H_2O is detected at a temperature of $300^\circ C$, and in a temperature range of $300-650^\circ C$, only peaks are detected that contain C and H, i.e., no peak with H_2O is detected at all in this temperature range.

In another experiment, a silicon dioxide film with a thickness of $0.5\ \mu m$ was formed on a silicon substrate, and then an aluminum-alloy film was formed onto it to a thickness of $0.9\ \mu m$ by means of an ordinary magnetron vapor deposition process. Then a pattern consisting of the aluminum alloy was formed on the aluminum-alloy film by application of a conventional light-irradiation process and a reactive-ion deposition. Next, an insulation film with a thickness of $2\ \mu m$ was deposited onto the entire surface of the silicon substrate, according to the process of this example, with sample A being obtained. On the other hand, a silicon dioxide film with a thickness of $2\ \mu m$ was deposited over the entire surface of the silicon substrate, according to an ordinary plasma-CVD process, with sample B being obtained. If an electrical reliability test is performed with these samples, sample A shows a clearly higher reliability than sample B.

Since the intermediate-layer insulation film 204 formed according to this example was viscous, the film was rather soft in comparison with conventional silicon dioxide film. The main reason that insulation film 204 has an exceptionally high electrical reliability in comparison with conventional silicon dioxide films may be attributed to the fact that insulation film 204 is soft enough to be free of any kind of tensions that are usually found in conventional silicon dioxide films, so that any defects due to thermal tension could be avoided.

(Example 3)

Figure 4 shows a schematic diagram of a semiconductor fabrication device that is used according to a third example of the present invention.

In Figure 4, reference number 301 denotes a vacuum container, to which an evacuation system (not shown) is connected through an outlet opening 302, in order to make it possible in this way for a high vacuum to exist inside the vacuum container 301. The final vacuum in this vacuum container 301 is 2×10^{-7} torr or higher. The evacuation system is not shown in Figure 4 in order to simplify the explanation.

A substrate-attachment table 303 to carry a substrate is placed inside the vacuum container 301, and a silicon substrate 304 is placed on this substrate-attachment table 303.

The vacuum container 301 is connected to various tubes to introduce various gases into the vacuum container 301. One tube 305, for introducing oxygen gas, one tube 315 for introducing an organic silane such as TMS, and one tube 330 for introducing nitrogen gas are connected to the vacuum container 301. Tube 305 is made of stainless steel.

Tube 305 for introducing oxygen gas (an oxygen supply system is omitted from Figure 4 for simplicity), is provided with a stop valve 306, a mass-flow control device 307, a stop valve 308, and a connector 309. The distal end region of the oxygen supply tube 305 is connected to an Al_2O_3 tube 311.

This Al_2O_3 tube 311 is connected to a stainless[-steel] tube 313 through a connector 312 that is connected to the vacuum container 301. The Al_2O_3 tube 311 is provided in its middle region with a hollow space 310 for microwave discharge (for reasons of simplicity, a microwave source and a microwave-supply system are omitted in Figure 4).

The stainless[-steel] tube 313 is connected to a spray head 314, which is provided in the vacuum container 301 in such a way that it lies opposite the substrate-attachment table 303. The oxygen gas supplied by the stainless[-steel] tube 313 is fed to the substrate through the spray head 314 while it reacts with TMS. The spray head 314 can be heated or cooled to a desired temperature in the range from -70°C to 100°C (for simplicity, the heating source and a control system for this heating and cooling are omitted in Figure 4).

Tube 315 for supplying TMS (for simplicity, a TMS-supply system is omitted from Figure 4) is provided with a stop valve 316, a mass-flow control device 317, a stop valve 318, and a tube 319 of stainless steel and connected to the vacuum container 301. A needle valve capable of controlling the flow rate can be used instead of the mass-flow control device 317.

Tube 319 of stainless steel is connected to the spray head 314 provided in the vacuum container 301. When oxygen gas and TMS are supplied simultaneously, these gases are mixed in the spray head 314 and partially react with each other, so that the mixture of these gases, which contains the reaction product, is fed to the substrate. It should be noted that the use of the spray head 314 is not essential according to the invention, i.e., the organic silane and the activated oxygen gas can be supplied separately to the vicinity of the surface of the substrate, in which case it is possible for these gases to be mixed in the vicinity of the surface of the substrate, whereby almost the same effect is achieved.

The nitrogen gas supplied by tube 330 (for simplicity, a nitrogen gas supply system is omitted from Figure 4) is used to set the pressure in the vacuum container 301, i.e., in order to set the internal pressure of the vacuum container 301 to atmospheric pressure, when the silicon substrate 304 is inserted into the vacuum container 301 or removed from it, or in order to shorten the time required for setting the cooled temperature of the silicon substrate 304 to room temperature. This nitrogen gas can be used to set the internal pressure of the vacuum container 301 during deposition of an insulation film on the silicon substrate 304.

Tube 330 is connected to a stop valve 331, a mass-flow control device 332, a stop valve 333, and a tube 334 connected to the vacuum container 301.

The substrate-attachment table 303 is [provided] with copper tubes (335a and 335b) for cooling or heating the substrate-attachment table 303 (copper tube 335a denotes a tube arranged on the gas-inlet side, while copper tube 335b denotes a tube arranged on the gas-outlet side), whereby these copper tubes (335a and 335b) are concealed within the substrate-attachment table 303. These copper tubes (335a and 335b) are connected to the nitrogen-supply system to introduce cooled nitrogen gas or nitrogen gas at room temperature.

The substrate-attachment table 303 is likewise provided with a housing heater 336, which functions as a heating source to heat the silicon substrate 304 to a desired temperature. The power source for this housing heater 336 has been omitted from Figure 4.

The wall of the vacuum container 301 is formed from a two-layer structure, and it is provided with a heating source 341 to heat the wall and a heat-insulation material 342 (the heating source 341 has been omitted in Figure 4). The wall temperature of the vacuum container 301 is set to 80°C in this example.

Next, a process for forming an insulation film, using the semiconductor fabrication system with the above-mentioned constitution, will be explained.

First, the vacuum container 301 is reset to atmospheric pressure and a silicon substrate 304 is attached to a substrate-attachment table 303. In this case, an evacuated auxiliary container can be provided next to the vacuum container 301 through a gate valve, in order to make it possible for the silicon substrate 304 to be moved automatically to the vacuum container 301, in which a robot arm is used. Then the inside of the vacuum container 301 is evacuated through the outlet opening 302 to a final vacuum, whereby in this case a vacuum of at least 1×10^{-7} torr should be set.

Then, cooled nitrogen gas can flow from copper tube 335a to copper tube 335b, in which case the substrate-attachment table 303 is cooled to a predetermined temperature from about -100 to -25°C. When the substrate-attachment table 303 has been cooled down to the above-mentioned range, the temperature of the silicon substrate 304 (substrate temperature) is -80°C to -25°C. When it has been confirmed that the substrate temperature has been stabilized to the desired temperature, mass-flow control device 317 for TMS is set at 1 to 100 cm³/min and stop valves 316 and 318 are opened to introduce TMS into the vacuum container 301.

After this, mass-flow control device 310 for oxygen gas is set to 1 to 1000 cm³/min and stop valves 306 and 308 are opened to introduce oxygen gas into the vacuum container 301. In this case, the pressure in the vacuum container 301 is set to approximately 10 mtorr to 500 torr, by which the conductance of the outlet opening 302 is changed, whereby the partial pressure is 2-200 torr for TMS and 2-400 torr for oxygen gas.

After the flow rate of oxygen has stabilized, microwave radiation of about 100 W to 5 kW is applied, in order thereby to induce microwave discharge of oxygen gas. By defining

the time when the microwave discharge is initiated as the starting time of the film deposition, the film deposition time is selected appropriately, in order thereby to deposit a silicon dioxide film on the silicon substrate 304.

In this example, an activated oxygen gas is fed directly into the vacuum container 301. Since the flow rate of oxygen gas and the resonance of the microwave do not stabilize immediately, it is advisable, from the standpoint of obtaining a insulation film with excellent quality, to introduce the oxygen gas directly into the vacuum container 301, but through a bypass, after the flow rate of oxygen gas and resonance of the microwave have stabilized.

The above-mentioned deposition can be ended by means of the following procedure.

First, the microwave power is turned off to stop the microwave discharge. The time of this shutoff is defined as the end time of the deposition. Then stop valves 328 and 318 are closed to stop the supply of TMS, and after this the stop valve 308 is closed to stop the supply of oxygen gas. Then the supply of cooling nitrogen gas from tube 335a and tube 335b is stopped in the same way as described above. At this time, the mass-flow control device 332 for nitrogen gas is set to 1-10 L/min and stop valves 331 and 332 are opened to introduce nitrogen gas from tube 334 into the vacuum container 301, in order thereby to reset the vacuum container 301 to a pressure in the vicinity of atmospheric pressure, and at the same time the temperature of the silicon substrate 304 is raised back to room temperature.

Finally, the vacuum container 301 is set to atmospheric pressure and the silicon substrate 304 is removed from the vacuum container 301. If desired, the next silicon substrate is attached to the substrate-attachment table 303 at this time. A series of processes for forming a silicon oxide film is completed in this way.

An intermediate-layer insulation film was formed on a substrate carrying a connecting conductor (sample), whereby work was done according to the above-mentioned procedures, as shown in Figures 5A and 5C.

This sample was produced as follows. First, a thermal silicon dioxide film 402 was deposited on the silicon substrate 401, which carries an element (not shown), to a thickness of about 1 μm , and then a 1-% Al, 0.5-% Si film (called simply aluminum-alloy film in the following), which functions as an aluminum-alloy conductor 403 and is connected to the above-mentioned element, is deposited to a thickness of about 0.4 to 0.9 μm . Then the resulting aluminum-alloy film is ion-etched by use of a usual exposure process and reactive-ion etching (RIE), whereby a desired aluminum-alloy conductor is formed, as shown in Figure 5A. This aluminum-alloy conductor 403 was connected to the above-mentioned element through a contact hole formed in the thermal silicon dioxide film 402.

Next, the silicon substrate 401 is placed on the substrate-attachment table 303, which is provided in the vacuum container 301, and the same procedure explained above is repeated to form an insulation film 405, as shown in Figure 5B.

More specifically, the intermediate-layer insulation film 204 is formed under the following film-formation conditions:

TMS-flow rate $20 \text{ cm}^3/[\text{min}]$, oxygen-gas flow rate $200 \text{ cm}^3/\text{min}$, deposition pressure 0.2 torr, microwave power 200 W, substrate temperature -30°C , and deposition time 2 min. With these film-formation conditions, the deposition rate of the intermediate-layer insulation film 405 is about 0.1 to $0.5 \text{ }\mu\text{m}/\text{min}$. When the sample obtained under these conditions is observed with a scanning electron microscope (SEM), it was established that the insulation film 405, as shown in Figure 5B, had been deposited uniformly into the entire intermediate space 404 between the conductors 403, as when a cup is filled with water, i.e., no holes at all exist in the insulation film 405 that has deposited into the groove.

Then an SiO_2 film 406 is deposited over the insulation film 405 up to a thickness of about 0.5 to $1 \text{ }\mu\text{m}$ by means of a plasma-CVD system of the parallel-plate type, using tetraethoxysilane (TEOS) and oxygen (Figure 5C). After a contact hole (through-hole) as been formed for contact with the aluminum-alloy conductor 403 in the SiO_2 film 406, a second layer of an aluminum-alloy conductor is formed. The procedure is then repeated the desired number of times to form the desired multi-layer conductor. Since the insulation film 405 is viscous, the insulation film 405 formed on the aluminum-alloy conductor is preferably set as thinly as possible, so that the next steps can be performed appropriately.

The main characteristic of this example lies in the difference in film thickness between film thickness "a" of the isolation film 405 that was deposited on the aluminum-alloy conductor 403 and film thickness "b" of the isolation film 405 that was deposited into the groove 404, as shown in Figure 5B. Film thickness "b" of the insulation film 405 that had been deposited into the groove 404 was greater than film thickness "a" of the insulation film 405 that had been deposited onto the aluminum-alloy conductor 403.

Figure 6 explains the relationship between film thickness "a" and film thickness "b." As shown in Figure 6, film thickness "b" is clearly greater than film thickness "a," until the groove 404 is completely filled with the insulation film 405.

Therefore, when the deposition of the insulation film 405 is stopped at the point indicated by the symbol "x" in Figure 6, it is possible to obtain structure in which the groove 405 [sic; 404] is completely filled with the insulation film 405, but whereby the surface of the aluminum-alloy conductor 403 is barely covered with the insulation film 405.

Figure 5B shows an example in which the insulation film 405 is likewise deposited onto the upper surface of the aluminum-alloy conductor 403, although the deposited insulation

film 405 is thin. However, the insulation film 405 need not necessarily be deposited onto the aluminum-alloy conductor 403, but only onto the thermal silicon dioxide film between the conductors.

Since the insulation film 405 in this example has a relatively low dielectric constant in comparison to the usual silicon dioxide film, even when the insulation film 405 is provided only in the space between the conductors, this is effective for preventing inter-conductor capacitance in the lateral direction.

Since the insulation film 405 in this example is viscous, it is soft in comparison to the usual silicon dioxide film. The softness of this insulation film 405 is a great advantage from a certain point of view, but it can also become disadvantageous, as will be explained below. The basis for the improvement in electrical reliability of the insulation film 405 can be attributed to the fact that the insulation film 405 is soft enough to be free of any type of thermal tensions that are found in the conventional silicon dioxide film, so that any defects based on thermal tension can be avoided.

On the other hand, the softness of the insulation film (204) can interfere with a subsequent step. If, e.g., the insulation film 405 is deposited on an entire aluminum-alloy layer that constitutes a first layer, onto which the insulation film 405 is deposited by the usual magnetron vapor deposition process, the insulation film 405 becomes wrinkled because of the heat of deposition, whereby it becomes impossible to form the aluminum-alloy conducting layer uniformly onto it and consequently to continue with the next steps.

However, according to this example, the soft insulation film 405 existed mainly in a region between the aluminum-alloy conductors, and the upper surface of the aluminum-alloy conductor was in contact with the SiO_2 film 406, which was formed by the usual plasma-CVD process. Naturally, the soft insulation film 405 must have existed on the aluminum-alloy conductor, but it was impossible to detect the existence of the soft insulation film 405 on the aluminum-alloy conductor when it was observed with a scanning electron microscope (SEM). Since the surface of the insulation film 405 was covered with a SiO_2 film formed by means of a usual plasma-CVD method, the next steps could be performed without interference from the existence of the insulation film 405.

Although a combination of TMS and oxygen has been explained in this example, nearly the same effect can be achieved by using other kinds of organic silanes instead of TMS. Examples of such organic silanes are alkoxysilanes such as tetraethyl silane ($\text{Si}(\text{C}_2\text{H}_5)_4$), tetramethoxysilane ($\text{Si}(\text{OCH}_3)_4$), tetraethoxysilane ($\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$), hexamethyldisiloxane ($\text{Si}_2\text{O}(\text{CH}_3)_6$), and tetraisopropoxysilane ($\text{Si}(\text{i-C}_3\text{H}_7)_4$). It is likewise possible to use xylene, phenyltrimethylsilane, and diphenyltrimethylsilane, in which case almost the same effects are obtained.

It is likewise possible to use a compound that includes an oxygen atom as a component instead of O_2 . Examples of such compounds include ozone, CO, CO_2 , NO, N_2O , NO_2 , H_2O , and H_2O_2 , in which case nearly the same effects are obtained.

(Example 4)

Figures 7A through 7C each show a cross section, whereby a step in the production of a semiconductor fabrication device according to a fourth example of the present invention is explained.

As shown in Figure 7A, a thermal silicon dioxide film 502 with a thickness of $1\text{ }\mu\text{m}$ is formed on the silicon substrate 501, and then an aluminum-alloy film is deposited that functions as an aluminum-alloy conductor 503, with a thickness of $0.9\text{ }\mu\text{m}$, by means of the usual deposition process. Next a pattern is formed on the resulting aluminum-alloy film by use of the usual irradiation process and a reactive-ion etching, whereby a desired pattern is formed from an aluminum-alloy conductor 503.

In Figure 7A, reference number 504 denotes a groove between the conductors. The aluminum-alloy conductor 503 is connected through a contact hole (not shown) formed in the thermal silicon dioxide film 502 to an element (not shown) formed on the silicon substrate 501.

Next, the silicon substrate 501 is treated in the same way as in the third example, with formation of an insulation film 505, as shown in Figure 7B. The film-formation conditions used in this case are: TMS flow rate $20\text{ cm}^3/\text{min}$, oxygen gas flow rate $100\text{ cm}^3/\text{min}$, deposition pressure 0.2 torr, microwave power 500 W, substrate temperature: room temperature. These film-formation conditions are only an example, and hence the present invention should not be limited thereto.

When these conditions are set in such a way that oxygen radicals are easily generated, a conformal film, as shown in Figure 7B, can be obtained easily. Conditions that make it possible to generate oxygen radicals easily are: when the oxygen flow rate is relatively greater than the TMS flow rate; when the microwave power is relatively high; or when the temperature of the substrate is as close as possible to room temperature.

When the sample formed under these conditions was observed with a scanning electron microscope (SEM), it was established that the thickness of the insulation film 505 that was formed at the bottom of the groove 504 was nearly the same as the thickness formed on the conductor 503, as shown in Figure 7B.

The main characteristic of this example is not only in the fact that the film thickness of the insulation film 505 formed at the bottom of the groove 504 was nearly the same as the thickness of the insulation film 505 formed on the aluminum-alloy conductor 503, but also in the

fact that the a certain amount of the insulation film 505 (film thickness 0.1 to 0.5 μm) is also formed on the aluminum-alloy conductor 503. When the inter-conductor capacitance in the lateral direction is to be lowered, the gap between the conductors should be covered with the insulation film 505 as much as possible.

After the substrate 501 is removed from the vacuum container, an SiO_2 film 506 is deposited onto the entire insulation film 505 up to a thickness of about 0.5 to 1.0 μm by the usual plasma-CVD process. It can be effective for improving the embedded shape of the groove 504 to deposit an insulation film 0.2 to 0.6 μm thick in advance, using an organic silane and O_2 , and then an SiO_2 film 506 onto the insulation film by a plasma-CVD process.

Then, an upper aluminum-alloy conductor is formed by the usual process. After the formation of a contact hole to form a contact with the aluminum-alloy conductor 503 in the SiO_2 film 506, an aluminum-alloy film with a thickness of 0.4 to 1.0 μm is formed to form the upper aluminum-alloy conductor. A pattern is then formed from the aluminum-alloy film using both a usual irradiation process and also a reactive-ion etching process, whereby the upper aluminum-alloy conductor is formed.

After an SiO_2 film with a thickness of 0.5 to 1.0 μm has been formed by a plasma-CVD process, a connecting surface is formed.

The semiconductor device (sample) obtained in this way was tested to study the electrical reliability. As a result, it was established that the percentage affected by defects because of tension migration was reduced by a two-digit value in comparison with the conventional semiconductor device.

This result can be attributed to the fact that since the insulation film 505 that contacts the aluminum-alloy conductor 503 is a viscous insulation film, even when the SiO_2 film 506 formed by a plasma-CVD process on the insulation film 505 is provided with the usual thermal tension, any type of thermal tension that can be applied to the aluminum-alloy conductor 503 can be alleviated through the viscous insulation film 505.

This example is characterized by the fact that the insulation 505 with a thickness of about 0.1 to 0.5 μm is also formed on the upper surface of the aluminum-alloy conductor 503. The upper surface as well as the side walls of the aluminum-alloy conductor 503 were completely surrounded by the soft insulation film 505.

It is suspected that when the semiconductor device is constructed in this way, it is possible to reduce any thermal tensions in the SiO_2 film 506 formed on the insulation film 505 by a plasma-CVD process, whereby the generation of tension migration is suppressed.

The fact that the intermediate-layer insulation film is not completely formed by the insulation film 505 is likewise one of the characteristics of the present invention. The generation not only of tension migration, but also of electron migration when the voltage is increased, is

likewise one of the factors that cause a worsening of the electrical reliability of the aluminum-alloy conductor.

As a countermeasure to suppress the generation of tension migration, a process is used with generation of a blocking layer consisting of TiN on the upper and lower sides of the aluminum-alloy conductor. Corresponding to this structure, when a large voltage is applied to the aluminum-alloy conductor, the aluminum atoms move in the direction in which the voltage is applied. The aluminum atoms that have moved toward the downstream side become excess atoms for the aluminum-alloy conductor of the downstream side. Since the upper and lower surfaces of the aluminum-alloy conductor are covered by a hard TiN blocking layer, the aluminum atoms that have moved in this way along a weak region of the insulation film in the vicinity of both sides of the aluminum-alloy conductor accumulate (a side hillock). If this side hillock becomes large as a result of its growth, it can come into contact with the neighboring aluminum-alloy conductors, whereby a short-circuit is caused.

If the gap provided between the aluminum-alloy conductors is filled completely with the soft insulation film 505, the resistance against these side hillocks becomes low. However, it has been confirmed that when the soft insulation film 505 is deposited only on a limited region that contacts the aluminum-alloy conductors, and the rest of the space between the aluminum-alloy conductors is filled with the conventional SiO_2 film 506, as in this example, the resistance to this side hillock is not affected.

(Example 5)

Figure 8 shows a cross section that explains a semiconductor device according to a fifth example of the present invention.

In Figure 8, reference number 701 denotes a silicon substrate that carries an insulated element. A silicon dioxide film 702 is formed on the upper surface of the silicon substrate 701. Onto this silicon dioxide film 702, a desired pattern of conductors, i.e., conductors 703a, 703b, and 703c is deposited. These conductors (703a, 703b, and 703c) are formed electrically with elements (not shown) that are formed on the upper surface of the substrate and are connected electrically through contact holes (not shown) formed in the silicon dioxide film 702.

These conductors (703a, 703b, and 703c) were covered by an insulation film 704 formed according to the present invention. A conducting layer 705 was formed on the insulation film 704 and connected to conductor 703b through a through-hole 706 formed in the insulation film 704. The material that constitutes these conductors (703a, 703b, and 703c) can be, e.g., a 1-%Al, 0.5-%Si, Cu conductor.

Figure 9 shows a schematic diagram of a semiconductor fabrication device used in this example. The semiconductor fabrication device is suitable for forming the insulation film 704 by a deposition CVD process.

With reference to Figure 9, reference number 601 denotes a vacuum container, to which an evacuation system (not shown) is connected through an outlet opening 602, in order to make it possible for the inside of the vacuum container 601 to be set to a high vacuum. The final vacuum of this vacuum container 601 is 2×10^{-7} torr or higher. The evacuation system is not shown in Figure 9 in order to simplify the explanation.

A substrate-attachment table 603 to carry a substrate is placed inside the vacuum container 601, and a silicon substrate 604 is provided on the substrate-attachment table 603.

The vacuum container 601 is connected to various tubes for the introduction of various gases into the vacuum container 601. In this case, one tube 605 for the introduction of various types of process gases, such as oxygen gas, hydrogen gas, carbon monoxide gas, or nitrogen gas, and a cleaning gas; one tube 615 for the introduction of an organic silane, such as TMS; and one tube 630 for the introduction of nitrogen gas are connected to the vacuum container 601. Tube 605 is made, e.g., of stainless steel.

Tube 605 for the introduction of various types of process gases (for simplicity, a gas-supply source is omitted from Figure 9) is connected through valves 606a through 606i to mass-flow control devices (607a through 607i), as shown from top to bottom in Figure 9. The distal end region of the oxygen supply tube 605 is connected to an Al_2O_3 tube 611.

Tube 605 is provided with a valve 608 and with a connector 609 and a sapphire tube 611, which is connected to the vacuum container 601 through a connector 612. Tube 605 is also connected through valves 651 and 652 to an ozonizer 653. When ozone is to be used, valve 608 is closed and a starting material is supplied to the ozonizer through valve 652. The ozone-containing gas is fed back through valve 652 to valve 605. As the starting-material gas to be fed to the ozonizer 653, oxygen gas, a mixed gas including oxygen gas and nitrogen gas, or a mixed gas including oxygen gas and carbon-dioxide gas is used preferably.

The sapphire tube 611 is preferably provided in its middle region with a discharge electrode 610 to generate a plasma by microwave discharge (for simplicity, a microwave source and microwave supply system are omitted in Figure 9). A light source 654 to excite a gas fed through the tube can be attached near the sapphire tube 611. As the exciting light that is to be used in this case, ultraviolet radiation is preferred to induce the gas supplied that is to be excited into an electron state [sic].

Tube 615 for the introduction of TMS (for simplicity, a TMS-supply source is omitted in Figure 9) is connected to the vacuum container 601 through a stop valve 616, a massflow control

device 617, a stop valve 618, and a tube 619 of stainless steel. A needle valve that can control the flow rate precisely can be used instead of the mass-flow control device 617.

The nitrogen gas to be fed through tube 630 (for simplicity, a nitrogen-gas supply source is omitted in Figure 9), is used to set the pressure within the vacuum container 601, i.e., to reset the internal pressure of the vacuum container 601 to atmospheric pressure, when the substrate 604 is placed in the vacuum container 601, or removed from it, or to shorten the time required for restoring the cooled temperature of the silicon substrate 604 to room temperature. This nitrogen gas can be used to set the internal pressure of the vacuum container 601 during deposition of an insulation film on the substrate 604. Tube 630 is connected to the vacuum container 601 through a valve 631, a mass-flow control device 632, valve 633, and a tube 634.

The substrate-attachment table 603 is provided with copper tubes (635a and 635b) for cooling the substrate-attachment table 603 (copper tube 635a denotes a tube that is arranged on the gas-inlet side, while copper tube 635b denotes a tube arranged on the gas-outlet side), whereby these copper tubes (635a and 635b) are concealed within the substrate-attachment table 603. These copper tubes (635a and 635b) are connected to a nitrogen supply system for the introduction of cooled nitrogen gas or nitrogen gas at room temperature (for simplicity, the nitrogen-gas cooling system and nitrogen-gas supply system are not shown in Figure 9).

The substrate-attachment table 603 is also provided with a housing-heater 636 that functions as a heating source to heat the silicon substrate 604 to a desired temperature (the power source for this housing heater 634 is not shown in Figure 9).

The wall of the vacuum container 601 is formed from a two-layer structure and equipped with a heating source 641 and a heat-insulation material 642 for heating the wall of the vacuum container 601, in order to maintain in this way a uniform gas temperature distribution in the internal space of the vacuum container 601 (for simplicity, the power source for this heating source 641 is not shown in Figure 9).

A light source 655, which is used to increase the viscosity of the region in the vicinity of the surface of the insulation film, and a microwave-generation power source 656 are attached to the vacuum container 601. As a light source 655, any infrared source with a wavelength of 2.6-3.3 μm , ultraviolet source 142 with a wavelength of 308 nm, or a light source for rapidly increasing the temperature of a substrate can be used effectively. This light source 656 and microwave-generation power source 655 can be used singly or in any combination, including multiply.

Next, a process for forming an insulation film corresponding to the present invention will be explained with reference to Figures 9 and 10A through 10C, whereby the process is modeled on the actual procedure.

First, the inside of the vacuum container 601 was reset to atmospheric pressure, and a substrate 604 was attached to a substrate-attachment table 603. In this case, an evacuated auxiliary chamber next to the vacuum container 601 can be provided via a gate valve in order to make it possible for the silicon substrate 604 to be transferred automatically to the vacuum container 601, in which a robot arm is used. The substrate 604 used in this case was a silicon substrate, the upper surface of which had been provided with a silicon dioxide film 702, onto which conductors 703a, 703b, and 703c had also been formed in a desired pattern, as shown in Figure 10A.

Then, the vacuum container 601 was set through the evacuation opening 602 to a final vacuum, which should be vacuum of 1×10^{-7} torr or higher in this case. Then cooled nitrogen gas could flow through a passage between copper tube 635a and copper tube 635b, whereby the substrate-attachment table 603 was cooled to a certain temperature from about -100°C to -25°C . When the substrate-attachment table 603 had been cooled down to the above-mentioned range, the temperature of the silicon substrate 604 (substrate temperature was -80°C to -25°C . After it was confirmed that the substrate temperature had stabilized to the desired temperature, mass-flow control device 617 for TMS was set to 1 to 100 cm^3/min and stop valves 616 and 618 were opened to introduce TMS into the vacuum container 601.

Mass-flow control device 607g for oxygen gas was then set to 1 to 1000 cm^3/min and stop valves 606g and 608 were opened to introduce oxygen gas into the vacuum container 601. In this case, the pressure in the vacuum container 601 can be set from about 10 mtorr to 500 torr by changing the conductance of the evacuation opening 602, whereby by the partial pressure is 2-200 torr for TMS and 2-400 torr for oxygen gas.

After the flow rate of the oxygen gas had stabilized, microwave power of about 100 W to 5 kW was applied, in order thereby to induce microwave discharge of oxygen gas. As a result, an insulation film 704 consisting of a reaction product between the oxygen plasma and TMS was deposited on the silicon substrate 701 in such a way that the conductors (703a through 703c) were covered, as shown in Figure 10B.

The above-mentioned deposition was ended by the following procedure.

First, the microwave source power was turned off in order to stop the microwave discharge. Then, stop valves 616 and 618 were closed to stop the introduction of TMS, and then valves 606g and 608 were closed to stop the introduction of oxygen gas. Then the introduction of cooled nitrogen gas, which was flowing from tube 635a to tube 635b, was stopped, and nitrogen gas at room temperature could flow through instead.

In this case, the mass-flow control device 632 for nitrogen gas was set to 1 to 10 L/min, and valves 631 and 632 were opened to introduce nitrogen gas from tube 634 into the vacuum container 601, in order to reset the inside of the vacuum container 601 to a pressure in the

vicinity of atmospheric pressure, and at the same time the temperature of the silicon substrate 604 was raised back to room temperature.

Finally, the inside of the vacuum container 601 was set to atmospheric pressure and the silicon substrate 604 was removed from the vacuum container 601. If desired, the next silicon substrate can be attached to the substrate attachment table 603 at this time. A series of processes for forming an intermediate-layer insulation film was completed in this manner.

Typical processes conditions for the formation of the above-mentioned insulation film 704 are: TMS flow rate $20 \text{ cm}^3/\text{min}$, oxygen-gas flow rate $200 \text{ cm}^3/\text{min}$, deposition pressure 0.2 torr, microwave power 200 W, and substrate temperature -30°C . Under these film-formation conditions, the deposition rate of the insulation film 704 is about $0.5 \text{ }\mu\text{m}/\text{min}$.

In this example, the discharge time was set to 40 min, and the film thickness of the insulation film 704 obtained was $2 \text{ }\mu\text{m}$. The viscosity of this insulation film 704 was less than 10,000 cp and the insulation film 704 was so soft that it could be perforated easily with tweezers [sic].

As shown in Figure 10C, a through-hole 706 was then opened in the insulation film 704 in such a way that it was connected to conductor 703b. Then the following procedures were performed in order, e.g., to raise the viscosity selectively in a region near the surface of the insulation film 704.

The substrate 701 was again placed in the vacuum container 601, which is shown in Figure 9. Then the flow rate of oxygen as was set to $150 \text{ cm}^3/\text{min}$ through mass-flow control device 607f. Valve 606f was then opened, high-frequency power of 200 W was applied to the discharge electrode 610, a hydrogen-gas plasma was introduced through the sapphire tube 611 into the vacuum container 601, and the substrate 701 was heated with a heater 636 to a temperature of 300°C . In this way, the substrate 701 was kept in this hydrogen-gas atmosphere for, e.g., 10 min. The internal pressure of the vacuum container 601 was, e.g., 1 torr.

Then, nitrogen gas was introduced into copper tube 635a to copper tube 635b, and at the same time, nitrogen gas from tube 634 was introduced into the vacuum container 601 in the same manner as explained above. When the temperature of the substrate had reached approximately room temperature, the substrate 701 was removed from the vacuum container 601.

The insulation film 704, the surface layer of which was then subjected to the above-mentioned treatment to increase its viscosity, became so hard that it could no longer be perforated easily with tweezers, which indicates a viscosity of 10,000 cp or more.

Finally, conductor 703b, which had been provided at the bottom of the through-hole 706, was cleaned by means of a suitable washing treatment, and then a metal conductor, from which conductor 705 was to be formed, was deposited on the insulation film 704 by a magnetron-deposition process. Then, the metallic layer was processed by use of an irradiation

process and a reactive-ion etching process to form conductor 705, which was connected electrically to conductor 703b, producing the semiconductor device shown in Figure 8.

The region of the semiconductor device obtained according to this example, and likewise the region of the semiconductor device formed according to the conventional procedure, i.e., the surface layer of its insulation film not subjected to the above-mentioned viscosity-increasing treatment, was studied using a scanning electron microscope (SEM).

As a result, it was established that the cross section of the insulation film 704 of the semiconductor device according to this example was excellent in every respect, including the upper surface and the side wall of the through-hole 706. Moreover, a sharp boundary surface indicating a change in viscosity was observed at an internal region of the insulation film 704, located about 0.1 μm inside the surface of the insulation film 704 and about 0.05 μm inside the side wall of the through-hole 706. The groove between the conductors, as well as the raised region of the conductors, was completely covered with the insulation film 704, without any kind of holes been generated in it.

In contrast to this, fine irregularities on the upper surface of the insulation film 704 and on the side wall of the through-hole 706 of the semiconductor device produced according to the conventional procedure were found due to the fact that the above-mentioned viscosity-increasing treatment had not been performed on the insulation film 704 and at the side wall of the through-hole 706, although the groove between the conductors and the raised region of the conductors was completely covered with the insulation film 704. Since the viscosity of the insulation film 704 itself was low, it was determined that the shape of the through-hole 706 was also deformed.

When a test relating to electrical properties was performed with the semiconductor device of the present invention and with the conventional semiconductor device, it was determined that the lifetime of the conductors of the semiconductor device of the present invention was about 10% longer than that of the conventional semiconductor device.

The reasons for this difference in the lifetime of the conductors will be explained in the following. The reasons for the shortened lifetime of the conductors of the conventional semiconductor device can be attributed to the deterioration of various properties caused by the plasma used in the deposition process, such as the magnetron-deposition process; e.g., a deterioration attributable to the generation of a leakage current resulting from the irregularity of the surface of the insulation film 704 or from splitting of bonds in the molecular structure of which the insulation film 704 is made, or a deterioration that can be attributed to defects that interfere with the contacts of the conductors. In contrast, it is assumed in this example that these phenomena are suppressed by the viscosity-increasing treatment performed on the surface of the insulation film 704. It is expected that the improvement in the reliability of the conductors

through the structural improvement of an insulation film, as described above, will become increasingly clear when miniaturization of the semiconductor element progresses further.

For a comparison of the quality of the insulation film obtained according to the present invention with the quality of the conventional insulation film, these insulation films were formed on a flat surface of a silicon substrate.

As a sample for the conventional insulation film, an insulation film was formed with the conventional deposition-CVD process (viscosity less than 10,000 cp). On the other hand, as a sample for the insulation film corresponding to this example, an insulation film was formed with the conventional deposition-CVD process and then the above-mentioned viscosity-increasing treatment was performed on the insulation film for a long time in order to raise the viscosity of most of the insulation film (viscosity more than 10,000 cp).

Then this insulation film was studied by a permeation Fourier-transform infrared analysis, an atom-composition analysis consisting of a combination of a wet chemical process and an atom-absorption analysis or mass-spectroscopy, and a hygroscopicity test. As a result, it was established that these insulation films have the same quality as far as the precision that can be determined by these analyses is concerned.

The main peaks that could be observed in the infrared spectroscopy analysis were an Si-O-Si path-vibration peak and a Si-CH₃ path-vibration peak. The intensity ratio of the Si-CH₃ vibration peak to the Si-O-Si peak was 10 to 50% in all insulation films. If the final vacuum in the vacuum container 201 was low, the H₂O absorption peak could not be observed in any of these insulation films, which indicates that the final vacuum in the vacuum container 201 should be set as high as possible.

When all insulation films that had been deposited onto the silicon substrate were dissolved by means of a wet chemical process and the resulting solutions were studied by atom-absorption analysis and mass spectrometry, it was determined that the composition ratio between carbon (C) and silicon (Si) was between 1.1:1 to 20:1 in all these insulation films, which indicates a higher carbon content compared to silicon in all of these insulation films.

In view of the evaluation of the hygroscopicity of these insulation films, even when these insulation films were exposed to an air atmosphere for two days, practically no water absorption could be detected in any of these insulation films. When these insulation films were heated in vacuum to up to 650°C and the gases released from them were measured using a mass spectrometer in order to study the thermal stability of these insulation films, a small amount of H₂O was detected at a temperature of 300°C, and in the temperature range from 300 to 650°C, the only peaks detected contained C and H, i.e., no H₂O peak was detected at all in this temperature range.

From these results, it can be seen that even when the above-mentioned viscosity-increasing treatment for the upper surface layer of an insulation film is performed on the insulation film that has been deposited by a deposition-CVD process, the quality of the insulation film is not essentially changed as a whole.

Therefore, the excellent qualities that are inherent in an insulation film formed by the conventional CVD process, i.e., a low dielectric constant and low hygroscopicity of the insulation film are not adversely affected, even when the viscosity of the surface layer of the film is increased. In contrast to this, it can be said that when the above-mentioned viscosity-increasing treatment is performed on the insulation film, the bonds between the molecules in the surface layer of the film are strengthened so that the dielectric constant and hygroscopicity of the insulation film can be lowered even further.

The fact that only the surface layer of the insulation film has a high viscosity and the interior region of the insulation film is kept at a low viscosity is highly preferred as a characteristic for an insulation film between conducting layers (i.e., an intermediate-layer insulation film). This is because when the viscosity of the surface layer of the insulation film is high, the location and also the shape of a through-hole formed selectively in the insulation film are stabilized. In addition, any damage to an insulation film by deposition plasma during the formation of a metallic conducting layer by means of magnetron deposition after the formation of the insulation film is effectively avoided when the viscosity of the surface layer of the insulation film is high. Therefore, the generation of a loss voltage between a pair of conductors through the insulation film can be effectively prevented.

On the other hand, if the viscosity of the interior region of the insulation film is low, there is no possibility for tension to be transferred to the insulation film lying below it, and at the same time, the step-covering property and the surface flatness of the insulation film are improved. In this case, it is also possible to prevent the conductor from damage due to tension migration.

As explained above, the above-mentioned viscosity-increasing treatment to increase the viscosity only at the surface layer of the insulation film formed by a deposition-CVD-process is a very effective process for obtaining an insulation film that has a low dielectric constant, is not very hygroscopic, and has an excellent step-covering property and is minimally affected by plasma and the like.

This example can be modified in various ways, as explained below.

For example, the above-mentioned viscosity-raising treatment to increase the viscosity only at the surface of the insulation film 704 can be performed directly before the substrate 701 is removed from the vacuum container 201 after deposition of the insulation film 704 by a deposition-CVD process. If this viscosity-increasing treatment is performed in this way, any kind of change in the location and the shape of the through-hole 706 because of some kind of

deformation of the insulation film 704 during the formation of the through-hole 706 in the insulation film 704 is effectively prevented.

In addition, these viscosity-increasing treatments to raise the viscosity only of the surface layer of the insulation film 704 after it has been condensed by a deposition-CVD process should preferably be performed in sequence, without breaking the vacuum state. The reason for this is that when the insulation film 704 is directly exposed to an air atmosphere after it has been condensed, the surface of the insulation film 704, which still has a low viscosity, can absorb fine particles that may have a negative effect on the quality of the insulation film 704 and on the conductors 706 to be formed on the insulation film 704.

In addition, these viscosity-increasing treatments to increase the viscosity of only the surface of the insulation film 704 after it has been condensed by a deposition-CVD process are preferably performed in the same vacuum container in order to avoid deformation of the insulation film 704 during transportation and any absorption of dust in the interior of the system.

According to this example, TMS reacts with oxygen radicals in a vapor phase and the reaction product is deposited onto a substrate, resulting in formation of an insulation film (a deposition-CVD). It is assumed that this reaction product is a polymerization-reaction product, and it derives from an organic silane and oxygen radicals. It is therefore possible to use other kinds of organic silane instead of TMS. Examples of such organic silanes are tetraethylsilane, tetramethoxysilane, tetraethoxysilane, hexamethyldisiloxane, and tetraisopropoxysilane. As sources of oxygen radicals that can react with the organic silane, it is possible to use an oxygen-containing gas instead of O_2 . Examples of such gases include ozone, CO, CO_2 , NO, N_2O , NO_2 , H_2O , and H_2O_2 .

In order to increase the viscosity of the surface of the insulation film 704 formed by means of a deposition-CVD process, an oxygen-radical atmosphere was used in this example.

It is suspected that this increase in viscosity by the reaction of active components in a polymer product that derives from organic silane and oxygen-rich radicals (e.g. $(Si(R_1R_2)-O)_n$, where R_1 and R_2 are each side chains), which constitute the insulation film 704 like the Si-end and the O-end of a side chain, i.e., a polymerization or linking reaction is induced among the molecules that form the insulation film through these active regions, whereby the structure of the insulation film is strengthened.

This strengthening of the insulation film by a linking reaction of this kind also contributes to an improvement in the lowering of the dielectric constant and the hygroscopicity of the insulation film, which are required for insulation films from the technological viewpoint in the production of semiconductor devices.

In view of the above-mentioned mechanism, it is possible to use other kinds of starting materials instead of the oxygen radicals in the above-mentioned viscosity-raising treatment, in order to raise the viscosity of the surface layer of the insulation film 704 selectively.

As a means for introducing a linking reaction, it is possible to increase the viscosity of the surface layer of the insulation film 704 formed by a deposition-CVD process by using method that is capable of introducing an active nucleus that contains an oxygen atom to the surface layer of the insulation film 704. For example, a plasma of a gas atmosphere that includes a molecule that contains oxygen atoms or ozone can be used.

Examples of a molecule that contains oxygen atoms and can be used in this case are those that are composed of the same kinds of atoms as are present in the insulation film 704 (such as CO and CO₂) or those that contain atoms that exist in the insulation film 704 and atoms that can be dissociated from the insulation film 704 (NO, N₂O, NO₂, H₂O, and H₂O₂).

It is also possible to use hydrogen radicals to increase the viscosity of the surface layer of the insulation film 704. It is suspected that the increase in viscosity in this case is caused by removal of the R₁-Si and R₂-Si bonds from the Si-O network of the molecule (e.g. (Si(R₁R₂)-O)_n), where R₁ and R₂ are each side chains), which constitute the insulation film 704, by converting these bonds into R₁-H and R₂-H, respectively, where a reaction in the Si-O network is induced whereby the chemical bonds in the insulation film are strengthened.

It is also possible to increase the viscosity of the surface layer of the insulation film 704 by promoting the reaction of specific functional groups in the insulation film 704 by inducing a vibration excitation of the functional groups. This can preferably be accomplished by using an excitation light for the OH bond, which is present in small amounts in the insulation film 704, and it is assumed that this is a reason for the low viscosity of the film. The light that was effective in increasing the viscosity of the film was an infrared light with a wavelength of about 2.6 to 3.3 μm, which corresponds to the absorption wavelength of the OH bond. This infrared light was effective in exciting the OH bonds, which existed primarily in the side chains, R₁ and R₂. The use of an infrared light with a wavelength of 3.3 to 3.5 μm was likewise effective in increasing the viscosity of the insulation film 704.

It is also possible to increase the viscosity of the surface layer of the insulation film 704 by irradiating ultraviolet light onto the insulation film 704 in order to excite the electron state of the molecules that constitute the insulation film 704. In particular, the use of ultraviolet radiation with a wavelength of 142 to 308 nm is most effective. In this case, an excimer lamp [sic; laser] is used as the light source. However, any other kind of light source could also be used.

It is also possible to increase the viscosity of the surface layer of the insulation film 704 by heating only the surface layer of the insulation film 704. If, e.g., a substrate that carries the insulation film 704 with low viscosity is exposed to microwaves, the water molecules that are

present to a small extent in the surface layer of the insulation film are excited, whereby only the surface of the insulation film 704 is heated and the linking reaction between the molecules that constitute the insulation film 704 is promoted.

The atmosphere used in this case should preferably be one that does not interfere with the linking reaction, such as an inert gas atmosphere (such as a nitrogen or argon gas atmosphere) or an atmosphere with reduced pressure. Alternatively, an argon gas atmosphere including oxygen atoms can be used to generate most of the active nuclei that contain the oxygen atoms that are to be generated by microwaves to promote the linking reaction.

It is also possible to use a "high-nucleus" temperature-control system provided with, e.g., an infrared heat lamp. In this case, when the rate of temperature increase is too low, not only the surface but also the interior of the insulation film 704 is heated, whereby a linking reaction is caused in the interior of the insulation film 704. Linking in the interior of the insulation film 704 is undesirable, since any tension in the insulation film 704 can be transmitted to the underlying conductors (703a to 703c).

In regard to the specific heat capacity and heat conductance rate of the insulation film 704 and the temperature dependency of the linking reaction, a heating rate of 10°C/min or more is required. The final temperature should preferably be about 450°C to 700°C. When the substrate has been heated to this final temperature, the temperature should preferably be directly at 450°C or slightly lower and maintained at this temperature, in order to avoid any deformation of the conductors (703a through 703c).

The process conditions such as treatment temperature, gas pressure, gas flow rate, discharge power, light intensity, wavelength of the light, treatment time, or rate of increase or decrease in the temperature in the above-mentioned treatments to raise the viscosity of the surface layer of the insulation film 704 can be modified, depending on various factors such as the starting material and the viscosity of the insulation film 704, the depth of the layer with increased viscosity, and the desired viscosity of the insulation film 704. It is also possible to combine a number of treatment processes.

Although Figure 9 shows an example of various processes to deposit an insulation film and to increase the viscosity of the surface layer of the insulation film, a system that uses only a part of the design shown in Figure 9 can be used as required. For example, the region of the design that is adapted for use in increasing the viscosity of the surface layer of the insulation film is separated from the region that is adapted for use in the deposition step of the insulation film, and a system that comprises one of these regions can be used as required.

In this example, a silicon substrate is used, but other kinds of substrates, such as a GaAs substrate, a ZnSe substrate, or an SOI substrate could likewise be used instead of the silicon substrate.

Although the step of selective formation of a contact hole in the insulation film 704 using a separate system has been performed, the sequence of steps, including the step of depositing the insulation film, the step of increasing the viscosity of the surface layer of the insulation film, and the step of forming a contact hole can be performed continuously, without a break in the vacuum state, in a suitable system. This sequence of steps can be performed in the same vacuum container.

If a process to increase the viscosity of the surface of the insulation film 704 with low viscosity and also the viscosity of the side-wall region of a through-hole by inducing a linking reaction at the surface of the insulation film and also at the side-wall region of the through-hole is used, then a deeper region of the insulation film 704 is also very viscous, which causes any tensions in the insulation film 704 to be transferred to the underlying conductors (703 and 703c).

If it is desired to prevent the transfer of tensions from the insulation film 704 to the underlying conductors (703a and 703c), the maximum film thickness, t_{\max} , of the insulation film 704 should preferably be set so that the inequality $d_{\max} \leq 0.1 t_{\max}$ is satisfied, where d_{\max} denotes the maximum distance from the surface of the insulation film 704 or from the side wall of the through-hole 706 to the region of high viscosity of the insulation film 704.

This maximum distance, " d_{\max} ", from the surface of the insulation film 704 or from the side wall of the through-hole 706 to the region of high viscosity of the insulation film 704 should be, in regard to the minimum value required to prevent deformation of the insulation film 704 and any damage by the plasma and in regard to the value at which the effects for preventing the above-mentioned deformation and damage are sufficient, about $10 \text{ nm} \leq d_{\max} \leq 100 \text{ nm}$.

As a means of creating a surface layer with a lower viscosity on the insulation film (a first insulation film), a separate insulation film (a second insulation film) with a high viscosity can be formed instead of increasing the viscosity of the surface layer of the insulation film 704.

In this case, the film thickness of the second insulation film is not limited by the above-mentioned " d_{\max} ," but can be changed as required, depending on the quality of the second insulation film and the layout of the semiconductor device.

The second insulation film should preferably be formed after the formation of the first insulation film and before the formation of the through-hole. The second insulation film can be formed after the step of forming the through-hole, but in this case the second insulation film will possibly also be formed at the bottom of the through-hole. If the film thickness of the second insulation film that is formed at the bottom surface of the through-hole is large, a step of reopening the through-hole may be required.

The step of forming the second insulation film with a higher viscosity than the viscosity of the first insulation film can be performed by using a CVD process, as is used in this example, under process conditions that make it possible to increase the viscosity of the insulation film.

Specifically, the flow rate of oxygen gas is made smaller with respect to the flow rate of an organic silane gas or the discharge power for generating oxygen radicals is increased, whereby the degree of polymerization of the polymerization reaction product between the organic silane and oxygen gas radicals is increased.

The process of forming the second insulation film can also be performed by using the tetraethoxysilane (TEOS)-ozone process or the polymerization process of an organic material to form a polymer film.

The step of forming the second insulation film after the formation of the first insulation film should preferably be performed continuously, without breaking the vacuum state. If a substrate that carries the first insulation film is exposed to an air atmosphere directly after it has been deposited, the surface of the first insulation film, which still has a low viscosity, is susceptible to adsorbing fine particles and water, which may possibly be disadvantageous for the quality of the insulation film and for the conductors formed onto the first insulation film.

In addition, the step of forming the second insulation film should preferably be performed after the formation of the first insulation film in the same vacuum container in order to prevent deformation of the insulation film while it is being transferred and any adsorption of dust to the interior of the system.

A treatment to raise the viscosity of the surface layer of the first insulation film (insulation film 704) can be performed after the formation of the first insulation film and before the step of forming the second insulation film.

In this example, a CVD process can be used to form an insulation film. However, the present invention can also be used for another process for forming an insulation film with low viscosity. Properties such as low dielectric constant, low hygroscopicity, and low viscosity, which are required for the insulation film, are based on requirements such as high-speed response, thermal tension, and step coverage, which are required for a circuit.

In particular, as a countermeasure for the problems of step coverage, thermal tension, and surface flatness, an insulation film with low viscosity must be formed on the upper surface of the substrate. One goal of the present invention is that of improving the resistance of the insulation film to damage and to improve the processing precision of the insulation film while maintaining the low dielectric constant, low hygroscopicity, and low viscosity (interior region) of the film, which are required for an insulation film, whereby the above-mentioned goal is achieved by forming an insulation film that has low viscosity, except for its surface layer, which has high viscosity.

The present invention is not limited to the above-mentioned examples. For example, the present invention was explained with reference to an intermediate-layer insulation film in the

above-mentioned examples. However, the present invention is also usable for a protective insulation film (passivation film).

If a large surface of the passivation film 805 of the present invention is arranged in the vicinity of the periphery of a bonding/connecting surface or in the vicinity of the peripheral circuit, as shown in Figures 11A and 11B, the blind connection column 806 should first be formed with formation of the conductor 803 through formation of the pattern from an aluminum-alloy film. The passivation film 805 can be formed in the same way as the intermediate-layer insulation film 204.

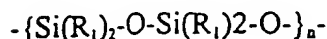
The blind connection column 806 can be formed using a film formed from an insulating material that is different from the above-mentioned silicon dioxide film 804, such as a plasma-CVD silicon dioxide film or a silicon nitride film. If a film of these materials is used, the problem that the passivation film 805 may deform because of pressure applied to conductor 803 during a bonding step can be avoided. In Figures 11A and 11B, reference number 801 denotes a silicon substrate, and reference number 807 a contact hole (through-hole).

Almost the same effect can be obtained by thermal hardening of the surface of the passivation film 805 at a low temperature of 300°C or less instead of forming the blind connection column 806.

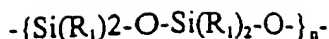
As explained above, according to the present invention, it is possible to create an insulation film that can be embedded within a fine region, while its excellent shape is maintained.

Claims

1. Semiconductor device, characterized by a substrate 201 and at least one intermediate-layer insulation film 204 or one passivation-insulation film, each of which is formed on the substrate 201 and contains silicon, oxygen, carbon, and hydrogen, where the carbon content is greater than the silicon content.
2. Semiconductor device according to Claim 1, where the insulation film has a dielectric constant of 1.8 to 3.2.
3. Semiconductor device according to Claim 2, where the insulation film has a dielectric constant of 1.8 to 2.5.
4. Semiconductor device according to one of Claims 1 through 3, wherein the insulation film has a backbone chain with structure selected from the group consisting of the following formulas 1 through 5:

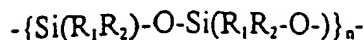


where R_1 is C_nH_{2n+1} (where n denotes a positive integer);



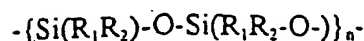
2

where R_1 is $-O-C_nH_{2n+1}$ (where n denotes a positive integer);



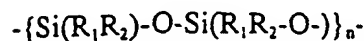
3

where R_1 is C_nH_{2n+1} (where n denotes a positive integer) and R_2 is C_mH_{2m+1} (where m denotes a positive integer), where n differs from m ;



4

where R_1 is $-O-C_nH_{2n+1}$ (where n denotes a positive integer) and R_2 is $-O-C_mH_{2m+1}$ (where m denotes a positive integer), where n differs from m ; and



5

where R_1 is $-O-C_nH_{2n+1}$ or C_nH_{2n+1} (where n is a positive integer); R_2 is $-O-C_mH_{2m+1}$ or C_mH_{2m+1} (where m is a positive integer), where n differs from m and where at least one of R_1 and R_2 is connected by $-O-$ with R_1 or R_2 belonging to the other backbone chain.

5. Semiconductor device according to one of Claims 1 through 4, wherein a connection column consisting of a metallic material or an insulation material that is resistant with respect to deformation of the insulation layer is embedded in the insulation film.

5. [sic; 6] Semiconductor device according to one of Claims 1 through 5, wherein a surface layer of the insulation film has a higher viscosity than the rest of the insulation film.

7. Semiconductor device according to one of Claims 1 through 6, whereby the insulation film is inert and not capable of releasing water at a temperature below 650°C,

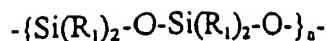
8. Semiconductor device according to one of Claims 1 through 7, wherein the atomic ratio of carbon to silicon in the insulation film is 1.0 to 3.0.

9. Semiconductor device, characterized by a substrate 201 and at least either an intermediate-layer insulation film 204 or a passivation-insulation film, each formed on a substrate 201, including silicon, oxygen, carbon, and hydrogen, and viscous at room temperature, whereby it has a viscosity of 100 cps to 300,000 cps at room temperature.

10. Semiconductor device according to Claim 9, wherein the insulation film has a dielectric constant from 1.8 to 3.2.

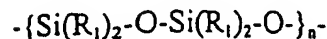
11. Semiconductor device according to Claim 10, wherein the insulation film has a dielectric constant from 1.8 to 2.5.

12. Semiconductor device according to one of Claims 9 and 11, wherein the insulation film has a backbone chain with a structure selected from the group consisting of the following formulas 1 through 5:



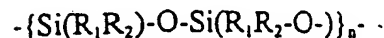
1

where R_1 is C_nH_{2n+1} (where n denotes a positive integer);



2

where R_1 is $-O-C_nH_{2n+1}$ (where n denotes a positive integer);



3

where R_1 is C_nH_{2n+1} (where n denotes a positive integer) and R_2 is C_mH_{2m+1} (where m denotes a positive integer), where n differs from m ;



4

where R_1 is $-O-C_nH_{2n+1}$ (where n denotes a positive integer) and R_2 is $-O-C_mH_{2m+1}$ (where m denotes a positive integer), where n differs from m ; and



5

where R_1 is $-O-C_nH_{2n+1}$ or C_nH_{2n+1} (where n is a positive integer); R_2 is $-O-C_mH_{2m+1}$ or C_mH_{2m+1} (where m is a positive integer), where n differs from m and where at least one of R_1 and R_2 is connected by $-O-$ to R_1 or R_2 belonging to the other backbone chain.

13. Semiconductor device according to one of the Claims 9 through 12, wherein a connection column consisting of a metallic material or an insulation material that is resistant with respect to deformation of the insulation film is embedded in the insulation film.

14. Semiconductor device according to one of Claims 9 through 13, wherein a surface layer of the insulation film has a higher viscosity than the rest of the insulation film.

15. Semiconductor device according to one of Claims 9 through 14, wherein the insulation film is inert and not capable of releasing water at a temperature below 650°C.

16. Semiconductor device according to one of Claims 9 through 15, wherein the atomic ratio of carbon to silicon is 1.0 to 3.0.

17. Semiconductor device, comprising a semiconductor substrate that carries an element, a first insulation film formed on the semiconductor substrate, a number of conductors, whereby at least one of the conductors is electrically connected via a contact hole; a second insulation film formed onto the conductors and onto the first insulation film where conductors have not been formed and containing silicon, oxygen, carbon, and hydrogen, whereby the carbon content is not less than the silicon content; and

a third insulation film formed onto the second insulation film and made of a material that differs from the material from which the second insulation film is made.

18. Semiconductor device according to Claim 17, wherein the insulation film has a dielectric constant of 1.8 to 3.2.

19. Semiconductor device according to Claim 18, wherein the insulation film has a dielectric constant of 1.8 to 2.5.

20. Semiconductor device according to one of Claims 17 through 19, wherein the insulation film has a backbone chain with a structure selected from the group consisting of the following formulas 1 through 5:

$-\{Si(R_1)_2-O-Si(R_1)_2-O-\}_n-$ 1
where R_1 is C_nH_{2n+1} (where n denotes a positive integer);

$-\{Si(R_1)_2-O-Si(R_1)_2-O-\}_n-$ 2
where R_1 is $-O-C_nH_{2n+1}$ (where n denotes a positive integer);

$-\{Si(R_1R_2)-O-Si(R_1R_2-O-)\}_n-$ 3
where R_1 is C_nH_{2n+1} (where n denotes a positive integer) and R_2 is C_mH_{2m+1} (where m denotes a positive integer), where n differs from m ;

$-\{Si(R_1R_2)-O-Si(R_1R_2-O-)\}_n-$ 4
where R_1 is $-O-C_nH_{2n+1}$ (where n denotes a positive integer) and R_2 is $-O-C_mH_{2m+1}$ (where m denotes a positive integer), where n differs from m ; and

$-\{Si(R_1R_2)-O-Si(R_1R_2-O-)\}_n-$ 5
where R_1 is $-O-C_nH_{2n+1}$ or C_nH_{2n+1} (where n is a positive integer); R_2 is $-O-C_mH_{2m+1}$ or C_mH_{2m+1} (where m is a positive integer), where n differs from m and where at least one of R_1 and R_2 is connected by $-O-$ to R_1 or R_2 belonging to the other backbone chain.

21. Semiconductor device according to one of Claims 17 through 20, wherein a connection column consisting of a metallic material or an insulation material that is resistance with respect to deformation of the insulation film is embedded in the insulation film.

22. Semiconductor device according to one of Claims 17 through 21, wherein a surface layer of the insulation film has a higher viscosity than the rest of the insulation film.

23. Semiconductor device according to one of Claims 17 through 22, wherein the insulation film is inert and not capable of releasing water at a temperature below 650°C.

24. Semiconductor device according to one of Claims 17 through 23, wherein the atomic ratio of carbon to silicon is 1.0 to 3.0.

25. Semiconductor device according to one of Claims 17 through 24, wherein the second insulation film is viscous at room temperature, where it has a viscosity from 100 to 300,000 cps at room temperature.

26. Semiconductor device according to one of Claims 17 through 25, wherein a film thickness of the third insulation film formed on an upper surface of the second insulation film is thinner than the film thickness of the third insulation film, which is formed on the upper surface of the first insulation film, between the conductors.

27. Semiconductor device according to one of Claims 17 through 26, wherein the first insulation film and the second insulation film are formed from a silicon dioxide film.

28. Semiconductor device, characterized by a semiconductor substrate;

a first conducting film formed on the semiconductor substrate;

an insulation film that is provided with a contact hole and formed in such a way that the first conducting film is covered; and

a second conducting film formed onto the insulation film in such a way that it is in electrical contact with the first conducting film through the contact hole;

wherein a region of the insulation film is arranged in the vicinity of a boundary surface between it and the second conducting film, without a region being provided at the contact hole, constituted in such a way that it has a viscosity of 10,000 cp or more and the rest of the insulation film, without the region in the vicinity of the boundary surface between it and the second conducting film, constructed in such a way that it has a viscosity of not less than 10,000 cp.

29. Semiconductor device according to Claim 28, wherein a region of the insulation film is arranged in the vicinity of a boundary surface between it and a region of the second conducting film located at the side wall of the contact hole, constructed so that it has a viscosity of 10,000 cp or more.

30. Semiconductor device according to Claim 28 or 29, wherein a region of the insulation film is arranged in the vicinity of a boundary surface between it and the second conducting film located at a side wall of the contact hole, constituted so that the inequality $d_{\max} \leq 0.1 t_{\max}$ is satisfied, where t_{\max} denotes a maximum film thickness and d_{\max} denotes a maximum distance from the boundary surface with the second conducting film to the region of the insulation film arranged in the vicinity of the intermediate surface.

31. Semiconductor device according to Claim 28, wherein a region of the insulation film is arranged in the vicinity of a boundary surface between it and a region of the second conducting film located at a side wall of the contact hole, constituted in such a way that the following inequality is satisfied: $10 \text{ nm} \leq d_{\max} \leq 100 \text{ nm}$, where d_{\max} denotes the maximum distance from the boundary surface between it and the second conducting film to the region of the insulation film arranged in the vicinity of the boundary surface.

32. Process for producing a semiconductor device, including the following steps:

forming a first insulation film on a semiconductor substrate that carries an element;

forming a contact hole in the first insulation film;

forming a number of conductors on the first insulation film, wherein at least one of the many conductors is in electrical contact with the element through the contact hole;

forming a second insulation film on the first insulation film where the conductors have not been formed, in such a way that the space between the conductors is covered, and wherein the second insulation film contains silicon, oxygen, carbon, and hydrogen, whereby the carbon content is not less than the silicon content;

and

forming a third insulation film on the conductors and on the second insulation film, wherein the third insulation film is made of a material that differs from the material of which the second insulation film is made.

33. Process according to Claim 32, wherein the step for forming the second insulation film is performed by a CVD process, wherein an organic silane and oxygen in an excited state are used as starting materials and a substrate temperature of -70°C to 50°C is set.

34. Process for producing a semiconductor device, including the following steps:

forming a conducting film on a substrate;

forming an insulation film with a viscosity of less than 10,000 cp in order thereby to cover the first conducting film;

performing a viscosity-increasing treatment by means of which the viscosity of a surface layer of the insulation film is increased to not less than 10,000 cp; and

forming a second conducting film on the insulation film in such a way that it is in electrical contact with the first conducting film.

35. Process according to Claim 34, wherein the step of increasing the viscosity of a surface layer of the insulation film to not less than 10,000 cp is performed by treating the insulation film with a plasma of a gas that includes at least one molecule that contains oxygen.

36. Process according to Claim 34, wherein the step of increasing the viscosity of a surface layer of the insulating film to not less than 10,000 cp is performed by treating the insulation film with a gas that contains oxygen radicals, ozone, or hydrogen radicals.

37. Process according to Claim 34, wherein the step of increasing the viscosity of the surface layer of the insulation film to not less than 10,000 cp is performed by irradiating the insulation film with an infrared radiation source with a wavelength of 2.6 to $3.3\text{ }\mu\text{m}$.

38. Process according to Claim 34, wherein the step of increasing the viscosity of a surface layer of an insulation film to not less than 10,000 cp is performed by irradiating the insulation film with an ultraviolet radiation source with a wavelength from 142 to 308 nm.

39. Process according to Claim 34, wherein the step of increasing the viscosity of a surface layer of the insulation film to not less than 10,000 cp is performed by treating the insulation film with microwaves in an atmosphere of a gas that includes at least one molecule containing an oxygen atom, an atmosphere of an inert gas, or an atmosphere with reduced pressure.

40. Process according to Claim 34, wherein the step of increasing the viscosity of the surface layer of the insulation film to not less than 10,000 cp is performed by heating the substrate that carries the insulation film at a heating rate of 10°C/s and by maintaining the heating temperature at 450°C or less.

41. Process according to Claim 34, wherein the step of increasing the viscosity of a surface layer of the insulation film to not less than 10,000 cp is performed by heating the substrate that carries the insulation at a heating rate of 10°C/s, wherein the surface layer of the insulation film is heated to a temperature in the range from 450°C to 700°C.

42. Process for fabricating a semiconductor device, including the following steps:

forming a first conducting film onto a substrate;

forming an insulation film with a viscosity of less than 10,000 cp, in order thereby to cover the first conducting film;

forming a second insulation film with a viscosity of not less than 10,000 cp onto the first insulation film; and

forming a second conducting film onto the second insulation film, in such a way that it is in electrical contact with the first conducting film.

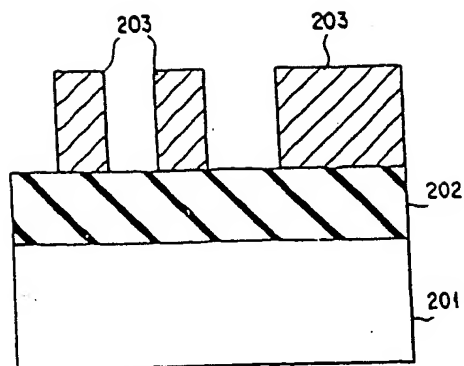


FIGURE 3A

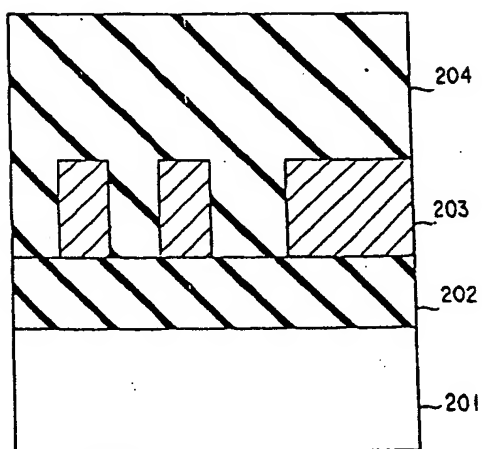


FIGURE 3B *

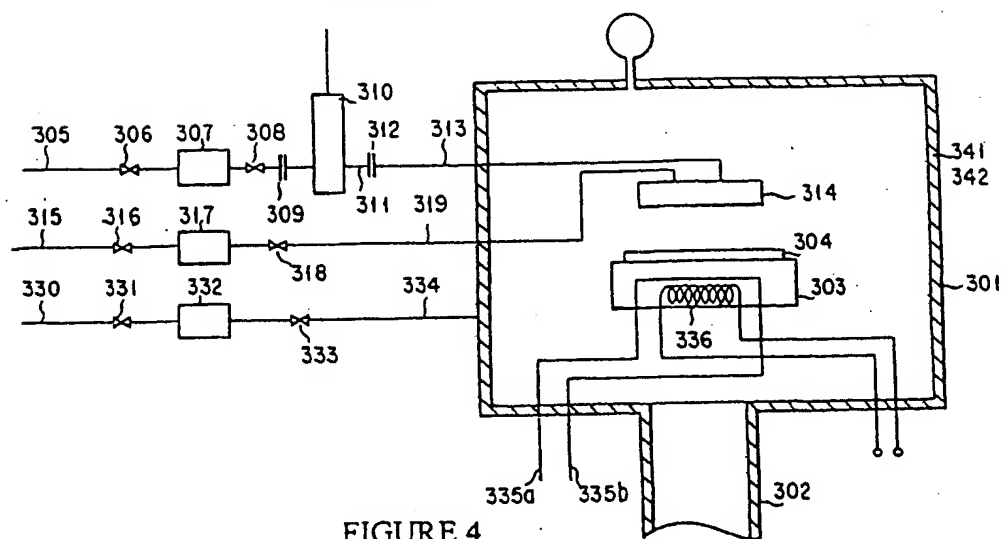


FIGURE 4

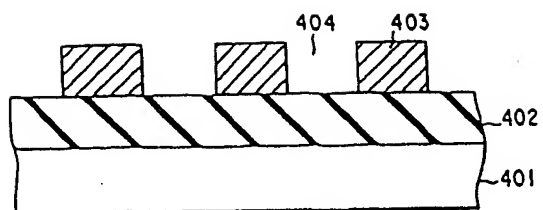


FIGURE 5A

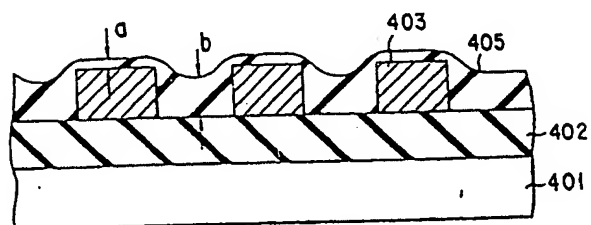


FIGURE 5B

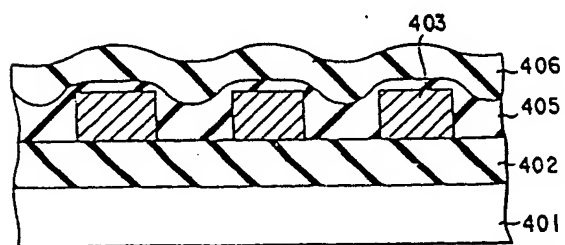


FIGURE 5C

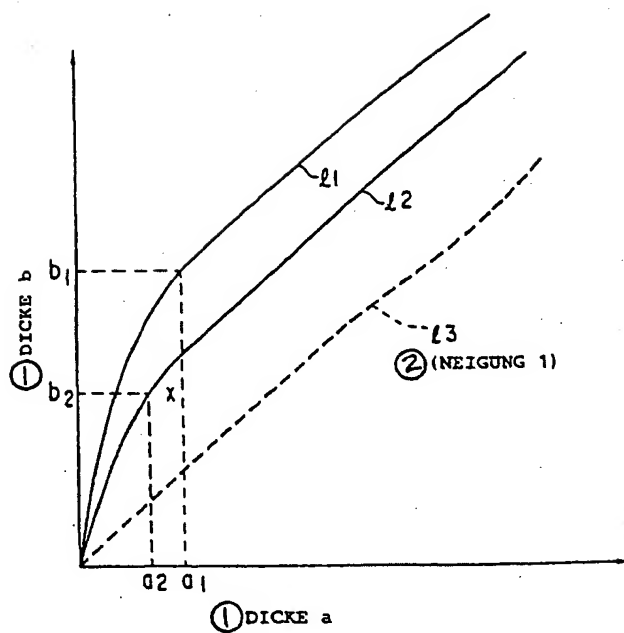


FIGURE 6

Key: 1 Thickness
2 Bending

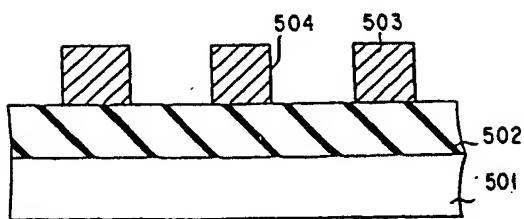


FIGURE 7A

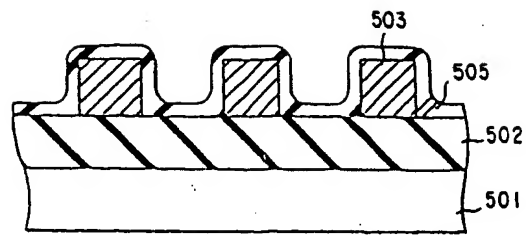


FIGURE 7B

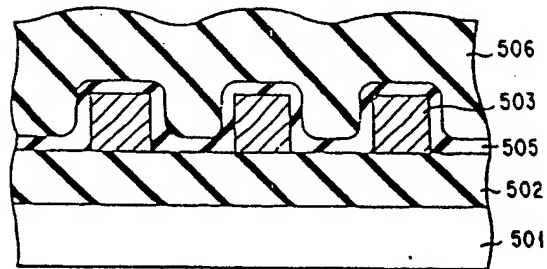


FIGURE 7C

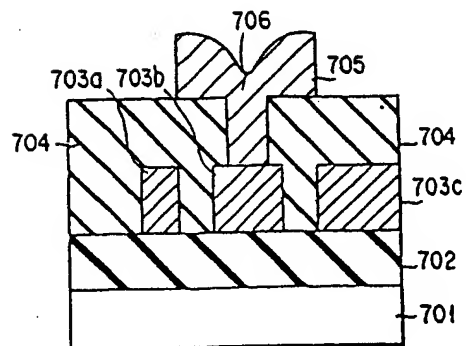


FIGURE 8

German Patent Application No. 196 54 737 A1

Translated from German by the Ralph McElroy Translation Company
910 West Avenue, Austin, Texas 78701 USA



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 196 54 737 A 1**

⑤1 Int. Cl.®:
H 01 L 21/31
H 01 L 21/489

②1 Aktenzeichen: 196 54 737.7
②2 Anmeldetag: 30. 12. 96
③3 Offenlegungstag: 3. 7. 97

DE 196 54 737 A 1

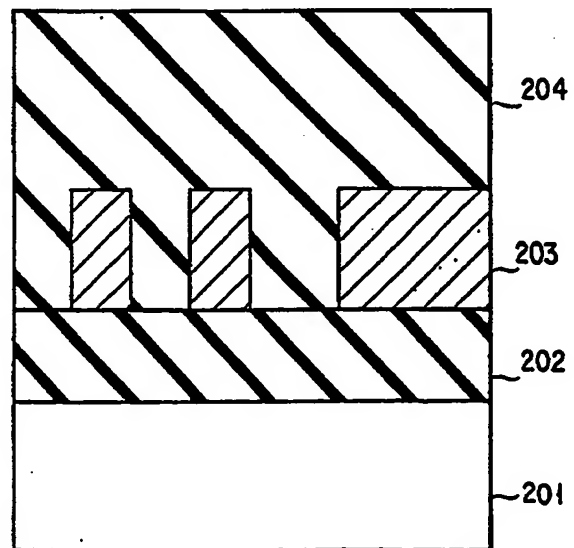
③0 Unionspriorität:
28.12.95 JP 7-342894 25.03.96 JP 8-068830
⑦1 Anmelder:
Kabushiki Kaisha Toshiba, Kawasaki, Kanagawa, JP
⑦4 Vertreter:
HOFFMANN . EITLE, 81925 München

⑦2 Erfinder:
Itoh, Hitoshi, Kunitachi, Tokio/Tokyo, JP; Nara,
Akiko, Yokohama, JP; Nagamine, Makoto,
Yokohama, JP

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Halbleitervorrichtung und Verfahren zu ihrer Herstellung

⑤7 Diese Erfindung betrifft eine Halbleitervorrichtung, umfassend ein Substrat (201) und zumindest einen Zwischenschicht-Isolationsfilm (204) oder einen Passivierungsisolationsfilm, die jeweils auf dem Substrat (201) gebildet sind und Silicium, Sauerstoff, Kohlenstoff und Wasserstoff enthalten, wobei der Kohlenstoff-Gehalt höher ist als der Silicium-Gehalt. Der Isolationsfilm hat eine Dielektrizitätskonstante von 1,8 bis 3,2 und ist bei Raumtemperatur viskos, wobei er eine Viskosität von 100 bis 300000 cps bei Raumtemperatur hat.



DE 196 54 737 A 1

Diese Erfindung betrifft eine Halbleitervorrichtung und ein Verfahren zu deren Herstellung, insbesondere betrifft diese Erfindung einen Isolierfilm wie einen Zwischenschicht-Isolierfilm oder einen Schutz-Isolierfilm (einen Passivierungsfilm) einer Halbleitervorrichtung.

Seit einiger Zeit wird eine Schaltung mit hohem Integrationsgrad (LSI), umfassend eine Schaltung, die sich aus einer großen Anzahl von Transistoren und Widerständen zusammensetzt und auf einem einzelnen Chip gebildet ist, in einem kritischen Bereich einer Computer- oder Telekommunikationsanlage in großem Ausmaß verwendet. Daher kann gesagt werden, daß die Gesamtleistung dieser Anlagen stark durch die Leistung einer einzelnen LSI-Einheit beeinflusst wird.

Die Verbesserung der Leistung der LSI-Einheit kann durch Erhöhen des Integrationsgrades, d. h. durch die Miniaturisierung eines jeden Elementes in der LSI-Einheit erzielt werden. Jedoch gibt es verschiedene Probleme bei dem Herstellungsverfahren für die Miniaturisierung.

Wenn z. B. eine Al-Legierungsleitung als Beispiel genommen wird, gibt es einen deutlichen Fortschritt bei der Miniaturisierung der Linienbreite der Leitung und dem Zwischenraum zwischen den Leitungen. Im Hinblick auf die Dicke der Leitung wurde jedoch bei der Verdünnung der Leitung nur ein moderater Fortschritt erzielt. Wenn ein Siliciumdioxid-Film gebildet wird, um eine Al-Legierungsleitung zu bedecken, kann daher die Rille zwischen den Leitungen nicht vollständig mit dem Siliciumdioxid-Film gefüllt werden, wodurch in dem Isolationsfilm Löcher zurückgelassen werden. Diese Löcher können einen Rest an H_2O in dem Isolationsfilm verursachen, was wiederum die Korrosion der Al-Legierungsleitung verursacht, da dieses restliche H_2O von dem Isolationsfilm zu der Al-Legierungsleitung gelangt.

Der konventionelle Siliciumoxid-Film beinhaltet ebenfalls das Problem, daß aufgrund der inhärenten Spannung des Filmes oder einer großen thermischen Spannung des Filmes das Phänomen der thermischen Migration induziert wird, wodurch eine Abschaltung der Al-Legierungsleitung verursacht wird.

Als Verfahren zum Verbergen einer feinen Rille zwischen den Leitungen mit einem Isolationsmaterial unter Vermeidung der Bildung von Löchern ist ein Verfahren der Beschichtung eines Spinn-auf-Glas (spin-on-glass, SOG) und dessen thermische Härtung bekannt.

Bei diesem Verfahren muß das SOG eine niedrige Viskosität aufweisen, um eine feine Rille mit dem SOG ausreichend zu füllen. Jedoch beinhaltet die Verwendung von SOG mit einer niedrigen Viskosität die Probleme, daß es dann, wenn es thermisch gehärtet wird, eine große volumetrische Schrumpfung entfaltet, wodurch die Erzeugung von Rissen in dem SOG verursacht wird, und daß es schwierig ist, das Wasser davon ausreichend zu entfernen. Daher bleibt das Problem der Korrosion einer Al-Legierungsleitung in den anschließenden Schritten bei diesem Verfahren ungelöst.

Um auf der anderen Seite eine Halbleitervorrichtung der nächsten Generation zu erhalten, die eine höhere Arbeitsgeschwindigkeit entfaltet, muß der Zwischenschichtisolierfilm zum Isolieren von Al-Legierungsleitungen voneinander eine niedrigere dielektrische Konstante aufweisen als der Zwischenschicht-Isolierfilm, der gegenwärtig verwendet wird. Um dieses Erfordernis zu erfüllen, ist die Verwendung eines Siliciumdioxid-Filmes, dem Fluor zugegeben ist (F-haltiger Siliciumdioxid-Film), vielversprechend.

xid-Film), vielversprechend.

Wenn die Konzentration an Fluor zur Erniedrigung der Dielektrizitätskonstante des Filmes erhöht wird, wird jedoch die Hygroskopizität des Filmes vergrößert, wodurch das Problem resultiert, daß Wasser von dem F-haltigen Siliciumdioxid-Film während eines Herstellungsverfahrens freigesetzt werden kann, wodurch die Eigenschaften davon als Zwischenschicht-Isolierfilm verschlechtert werden oder die Korrosion der Al-Legierungsleitungen ermöglicht wird.

Wenn ein Siliciumdioxid-Film als Zwischenschicht-Isolierfilm verwendet wird, ist es, wie oben erläutert, schwierig, eine feine Rille, die lateral zwischen den Leitungen vorgesehen ist, zufriedenstellend zu füllen, ohne daß die Bildung von Löchern verursacht wird, da die Form des Siliciumdioxid-Filmes, der darin verborgen ist, Mängel aufweist. Daher verbleibt Wasser in dem Zwischenschicht-Isolierfilm, wodurch die Korrosion der Leitungen verursacht wird.

Um diese Probleme zu lösen, wurde ein Verfahren zum Füllen einer feinen Rille zwischen den Leitungen mit einem SOG mit niedriger Viskosität und mit anschließender thermischer Härtung vorgeschlagen, wie oben erwähnt. Jedoch weist die Verwendung von SOG mit einer Viskosität die Probleme auf, daß es bei einer thermischen Härtung eine große volumetrische Schrumpfung entfaltet, wodurch die Erzeugung von Rissen in dem SOG induziert wird, und außerdem ist es schwierig, das Wasser davon ausreichend zu entfernen. Daher wird das Problem der Korrosion einer Leitung in den anschließenden Schritten durch dieses Verfahren ebenfalls nicht gelöst.

Auf der anderen Seite wird die Verwendung eines F-haltigen Siliciumdioxid-Filmes als Zwischenschicht-Isolationsmaterial für die Herstellung einer Halbleitervorrichtung der nächsten Generation, die eine höhere Arbeitsgeschwindigkeit aufweist, als vielversprechend angesehen. Wenn jedoch die Fluor-Konzentration zur Erniedrigung der Dielektrizitätskonstante des Filmes erhöht wird, wird die Hygroskopizität des Filmes gefördert, wodurch das Problem verursacht wird, daß Wasser von dem F-haltigen Siliciumdioxid-Film während des Herstellungsverfahrens freigesetzt werden kann, wodurch die Eigenschaften davon als Zwischenschicht-Isolierfilm verschlechtert werden oder die Korrosion der Al-Legierungsleitung erzeugt wird.

Demgemäß liegt ein Ziel dieser Erfindung darin, eine Halbleitervorrichtung anzugeben, die mit einem Isolierfilm versehen ist, der eine feine Rille effektiv verbergen kann.

Ein anderes Ziel dieser Erfindung liegt darin, ein Verfahren zur Herstellung einer Halbleitervorrichtung anzugeben, die mit einem Isolierfilm versehen ist, der zum Verbergen einer feinen Rille wirksam ist.

Ein weiteres Ziel dieser Erfindung liegt darin, eine Halbleitervorrichtung anzugeben, die mit einem Isolierfilm versehen ist, der zur Verwendung zumindest als Zwischenschicht-Isolierfilm oder Passivierungsschicht geeignet ist, die bezüglich der Form im verborgenen Zustand ausgezeichnete sind und eine niedrigere Dielektrizitätskonstante und Hygroskopizität aufweisen als die konventionellen Isolationsfilme.

Ein weiteres Ziel dieser Erfindung liegt darin, eine Halbleitervorrichtung anzugeben, die mit einem Isolierfilm versehen ist, der zur Verwendung als Zwischenschicht-Isolierfilm geeignet ist, der bezüglich der Form im verborgenen Zustand ausgezeichnete ist und eine niedrigere Dielektrizitätskonstante und thermische

Spannung aufweist als der konventionelle Isolierfilm.

Ein weiteres Ziel dieser Erfindung liegt darin, eine Halbleitervorrichtung anzugeben, die mit einem Isolierfilm versehen ist, der zur Verwendung als Zwischenschicht-Isolierfilm geeignet ist, der bezüglich der Form im verborgenen Zustand (hohe Stufen-Abdeckung) ausgezeichnet ist und kaum einen nachteiligen Einfluß auf einen anschließenden Schritt (z. B. einen Schritt der Bildung eines Kontaktloches oder einen Schritt der Bildung einer Leitung) im Vergleich zu dem konventionellen Isolierfilm gibt.

Ein weiteres Ziel dieser Erfindung liegt darin, ein Verfahren zur Herstellung einer Halbleitervorrichtung anzugeben, die die oben erwähnten ausgezeichneten Merkmale aufweist.

Erfindungsgemäß wird eine Halbleitervorrichtung angegeben, umfassend: ein Substrat und zumindest einen Zwischenschicht-Isolierfilm oder einen Passivierungsfilm, der jeweils auf dem Substrat gebildet ist und Silicium, Sauerstoff, Kohlenstoff und Wasserstoff enthält, wobei der Gehalt des Kohlenstoffes nicht geringer ist als der Gehalt des Siliciums.

Erfindungsgemäß wird weiterhin eine Halbleitervorrichtung zur Verfügung gestellt, umfassend: ein Substrat und zumindest einen Zwischenschicht-Isolierfilm oder einen Passivierungsfilm, wobei jeder auf dem Substrat gebildet ist und Silicium, Sauerstoff, Kohlenstoff und Wasserstoff enthält und bei Raumtemperatur viskos ist, wobei bei Raumtemperatur eine Viskosität von 100 cps bis 300 000 cps entfaltet wird.

Erfindungsgemäß wird weiterhin eine Halbleitervorrichtung zur Verfügung gestellt, umfassend ein Halbleitersubstrat, das ein Element trägt; einen ersten Isolierfilm, der auf dem Halbleitersubstrat gebildet ist, eine Vielzahl von Leitungen, wobei zumindest eine der Leitungen mit dem Element über ein Kontaktloch elektrisch verbunden ist, einen zweiten Isolierfilm, der auf den Leitungen und dem ersten Isolierfilm gebildet ist, wo die Leitungen nicht gebildet sind, und der Silicium, Sauerstoff, Kohlenstoff und Wasserstoff enthält, wobei der Gehalt des Kohlenstoffes nicht weniger ist als der Gehalt des Siliciums, und einen dritten Isolierfilm, der auf dem zweiten Isolierfilm gebildet ist und aus einem Material hergestellt ist, das sich von dem Material unterscheidet, das den zweiten Isolierfilm ausmacht.

Erfindungsgemäß wird weiterhin eine Halbleitervorrichtung zur Verfügung gestellt, umfassend ein Halbleitersubstrat, einen ersten leitenden Film, der auf dem Halbleitersubstrat gebildet ist, einen Isolierfilm, der mit einem Kontaktloch versehen ist und so gebildet ist, daß der erste leitende Film bedeckt wird, und einen zweiten leitenden Film, der auf dem Isolierfilm derart gebildet ist, daß er mit dem ersten leitenden Film über das Kontaktloch elektrisch kontaktiert ist, worin ein Bereich des Isolierfilms, der in der Nähe einer Grenzfläche davon mit dem zweiten leitenden Film angeordnet ist, mit Ausnahme eines Bereiches, der an dem Kontaktloch angeordnet ist, so konstruiert ist, daß er eine Viskosität von 10 000 cp oder mehr hat, und wobei der Rest des Isolierfilmes, mit der Ausnahme des Bereiches, der in der Nähe einer Grenzfläche davon mit dem zweiten leitenden Film angeordnet ist, so konstruiert ist, daß er eine Viskosität von weniger als 10 000 cp hat.

Erfindungsgemäß wird weiterhin ein Verfahren zur Herstellung einer Halbleitervorrichtung angegeben, umfassend die Schritte: Bildung eines ersten Isolierfilmes auf einem Halbleitersubstrat, das ein Element darauf trägt; Bildung eines Kontaktloches in dem ersten

Isolierfilm; Bildung einer Vielzahl von Leitungen auf dem ersten Isolierfilm, wobei zumindest eine der Vielzahl von Leitungen elektrisch mit dem Element durch das Kontaktloch kontaktiert ist; Bildung eines zweiten Isolierfilmes auf dem ersten Isolierfilm, wo die Leitungen nicht gebildet sind, derart, daß ein Raum zwischen den Leitungen verborgen wird, wobei der zweite Isolierfilm Silicium, Sauerstoff, Kohlenstoff und Wasserstoff umfaßt, wobei der Gehalt des Kohlenstoffes nicht weniger ist als der Gehalt des Siliciums; und Bildung eines dritten Isolierfilmes auf der Leitung und auf dem zweiten Isolierfilm, wobei der dritte Isolierfilm aus einem Material hergestellt ist, das sich von dem Material unterscheidet, das den zweiten Isolierfilm ausmacht.

Erfindungsgemäß wird weiterhin ein Verfahren zur Herstellung einer Halbleitervorrichtung angegeben, umfassend die Schritte: Bildung eines ersten leitenden Filmes auf einem Substrat; Bildung eines Isolierfilmes mit einer Viskosität von weniger als 10 000 cp, wodurch der erste leitende Film bedeckt wird; Durchführung einer Viskositätssteigerungsbehandlung, wodurch die Viskosität einer Oberflächenschicht des Isolierfilmes auf nicht weniger als 10 000 cp erhöht wird; und Bildung eines zweiten leitenden Filmes auf dem Isolierfilm in der Art, daß er mit dem ersten leitenden Film elektrisch in Kontakt steht.

Erfindungsgemäß wird weiterhin ein Verfahren zur Herstellung einer Halbleitervorrichtung angegeben, umfassend die Schritte: Bildung eines ersten leitenden Filmes auf einem Substrat; Bildung eines Isolierfilmes mit einer Viskosität von weniger als 10 000 cp, wodurch der erste leitende Film bedeckt wird; Bildung eines zweiten Isolierfilmes mit einer Viskosität von nicht weniger als 10 000 cp auf dem ersten Isolierfilm; und Bildung eines zweiten leitenden Filmes auf dem zweiten Isolierfilm in einer solchen Weise, daß er mit dem ersten leitenden Film elektrisch in Kontakt steht.

Zusätzliche Ziele und Vorteile dieser Erfindung werden aufgrund der nachfolgenden Beschreibung erläutert und werden zum Teil aufgrund der Beschreibung offenbar oder können durch die Durchführung dieser Erfindung erfaßt werden. Diese Ziele und Vorteile der Erfindung können durch die Merkmale und Kombinationen, die insbesondere in den beigefügten Patentansprüchen angegeben sind, realisiert und erhalten werden.

Die beigefügten Zeichnungen, die einen Teil der Beschreibung ausmachen und darin enthalten sind, erläutern gegenwärtig bevorzugte Ausführungsbeispiele dieser Erfindung und dienen zusammen mit der allgemeinen Beschreibung, die oben angegeben ist, und der nachfolgend angegebenen detaillierten Beschreibung der bevorzugten Ausführungsbeispiele dazu, die Prinzipien dieser Erfindung zu erklären.

Fig. 1 ist eine schematische Ansicht, die die Struktur einer Halbleitervorrichtung zeigt, die gemäß einem ersten Beispiel dieser Erfindung verwendet wird;

Fig. 2 ist eine schematische Ansicht, die die Struktur einer Stickstoffgas-Zuführanlage zeigt;

Fig. 3A und 3B zeigen jeweils einen Schnitt durch eine Halbleitervorrichtung, die das Herstellungsverfahren entsprechend einem zweiten Beispiel dieser Erfindung erläutern;

Fig. 4 ist eine schematische Ansicht, die die Struktur einer Halbleitervorrichtung zeigt, die in einem dritten Beispiel dieser Erfindung verwendet wird;

Fig. 5A bis 5C zeigen jeweils einen Schnitt durch eine Halbleitervorrichtung, wobei das Herstellungsverfahren entsprechend einem dritten Beispiel dieser Erfindung

dung erläutert wird;

Fig. 6 ist ein Diagramm, das die Abhängigkeit der Filmdicke eines Isolationsfilmes von der Unterschicht erläutert;

Fig. 7A bis 7C zeigen jeweils einen Schnitt durch eine Halbleitervorrichtung, wobei der Herstellungsschritt entsprechend einem vierten Beispiel dieser Erfindung erläutert wird;

Fig. 8 ist ein Querschnitt durch eine Halbleitervorrichtung entsprechend einem fünften Beispiel dieser Erfindung;

Fig. 9 ist eine schematische Ansicht, die die Struktur einer Halbleitervorrichtung zeigt, die gemäß einem fünften Beispiel dieser Erfindung verwendet wird;

Fig. 10A bis 10C zeigen jeweils einen Querschnitt durch eine Halbleitervorrichtung, wobei der Herstellungsschritt entsprechend einem fünften Beispiel dieser Erfindung erläutert wird;

Fig. 11A zeigt einen Querschnitt durch eine Halbleitervorrichtung, wobei ein Verfahren zur Verhinderung der Deformation einer weichen Passivierungsschicht gemäß dieser Erfindung erläutert wird; und

Fig. 11B zeigt eine schematische Planansicht, wobei ein Verfahren zur Verhinderung der Deformation einer weichen Passivierungsschicht gemäß dieser Erfindung erläutert wird.

Eine Halbleitervorrichtung entsprechend einem ersten Ausführungsbeispiel dieser Erfindung ist durch die Verwendung eines Isolationsfilmes mit niedriger Viskosität als Zwischenschicht-Isolierfilm und/oder Schutzisolationfilm (Passivierungsfilm) gekennzeichnet.

Dieser Isolierfilm umfaßt Silicium, Sauerstoff, Kohlenstoff und Wasserstoff, wobei der Gehalt an Kohlenstoff nicht weniger ist als der Gehalt an Silicium. Z.B. sollte das Atomverhältnis von Kohlenstoff zu Silicium in diesem Isolierfilm bevorzugt 1,0 bis 3,0, mehr bevorzugt 1,0 bis 2,0 sein. Wenn der Gehalt an Kohlenstoff höher ist als der Gehalt an Silicium, wird der Isolierfilm viskoser.

Der erfindungsgemäße Isolierfilm entfaltet eine Viskosität von 100 bis 300 000 cps, mehr bevorzugt 1000 bis 10 000 cps bei Raumtemperatur. Raumtemperatur bedeutet in diesem Falle eine Temperatur von etwa 15 bis 30°C.

Wenn die Viskosität des Isolierfilmes weniger ist als 100 cps, kann der Isolierfilm nicht für eine Vielschicht-zwischenschaltung verwendet werden. Wenn auf der anderen Seite die Viskosität des Isolierfilmes 300 000 cps übersteigt, können Löcher in dem Isolierfilm gebildet werden, wenn er in einer feinen Rille verborgen ist.

Der erfindungsgemäße Isolierfilm sollte bevorzugt eine Dielektrizitätskonstante von 1,8 bis 3,2, mehr bevorzugt 1,0 bis 2,5 haben.

Spezifische Beispiele des Isolierfilmes entsprechend dieser Erfindung sind solche, die eine Rückgratkette aufweisen, ausgewählt aus der Gruppe, bestehend aus den folgenden Formeln (1) bis (5):



worin R_1 C_nH_{2n+1} ist (worin n eine positive ganze Zahl bedeutet);



worin R_1 $-O-C_nH_{2n+1}$ ist (worin n eine positive ganze Zahl ist);



worin R_1 C_nH_{2n+1} ist (worin n eine positive ganze Zahl ist), und R_2 C_mH_{2m+1} ist (worin m eine positive ganze Zahl ist), worin n sich von m unterscheidet;



worin R_1 $-O-C_nH_{2n+1}$ ist (worin n eine positive ganze Zahl ist) und R_2 ist $-O-C_mH_{2m+1}$ ist (worin m eine positive ganze Zahl bedeutet), worin n sich von m unterscheidet; und



worin R_1 $-O-C_nH_{2n+1}$ oder C_nH_{2n+1} ist (worin n eine positive ganze Zahl ist); R_2 $-O-C_mH_{2m+1}$ oder C_mH_{2m+1} ist (worin m eine positive ganze Zahl ist); wobei sich n von m unterscheidet; und wobei zumindest eines von R_1 und R_2 über $-O-$ mit R_1 oder R_2 verbunden ist, das zu der anderen Rückgratkette gehört.

Wenn der Isolationsfilm entsprechend diesem Beispiel über einer großen Fläche gebildet ist, kann eine Schaltsäule, die aus einem metallischen Material oder einem Isolationsmaterial besteht, das von dem Material verschieden ist, das den Isolationsfilm ausmacht, die gegenüber dem Fluß und der Deformation des Isolationsfilmes widerstandsfähig ist, in dem Isolationsfilm gebildet werden. Durch das Vorsehen einer solchen Schaltsäule kann die Deformation des Isolationsfilmes unterdrückt werden.

Es ist ebenfalls möglich, die Deformation des Isolationsfilmes zu unterdrücken, selbst wenn eine Spannung auf dem Isolationsfilm auferlegt wird, indem die Viskosität des Oberflächenbereiches des Isolationsfilmes gemäß diesem Ausführungsbeispiel höher gemacht wird als die des inneren Bereiches des Isolationsfilmes.

Der Isolationsfilm entsprechend dem ersten Ausführungsbeispiel dieser Erfindung hat eine ausgezeichnete Eigenschaft, weil er inert ist und nicht in der Lage ist, Wasser bei einer Temperatur von nicht mehr als 650°C freizusetzen. Der Isolationsfilm entsprechend dem ersten Ausführungsbeispiel kann durch ein CVD-Verfahren gebildet werden. Dieses CVD-Verfahren sollte bevorzugt so durchgeführt werden, daß die Temperatur des Substrates auf eine Temperatur eingestellt wird, die höher ist als der Schmelzpunkt und niedriger als der Siedepunkt eines Ausgangsmaterialgases oder eines Zwischenproduktes, das durch Reaktion des Ausgangsmaterials in einer Dampfphase gebildet werden kann.

Es wurde festgestellt, daß dann, wenn in dem Isolationsfilm entsprechend diesem Ausführungsbeispiel, umfassend Silicium, Sauerstoff, Kohlenstoff und Wasserstoff, der Gehalt an Kohlenstoff höher ist als der Gehalt an Silicium, der Isolationsfilm bei Raumtemperatur viskos wird (Viskosität von 100 bis 300 000 cps), so daß die Form des Isolationsfilmes, wenn er in einer feinen Rille verborgen ist, verbessert werden kann.

Z.B. wurde festgestellt, daß der Isolationsfilm entsprechend diesem Ausführungsbeispiel in einer Rille mit einem hohen Längenverhältnis von mehr als 1 ohne Erzeugung der üblichen Löcher darin verborgen werden kann. Der Isolationsfilm mit einer solchen Viskosität, der Silicium, Sauerstoff, Kohlenstoff und Wasserstoff enthält, hat ebenfalls eine niedrige Dielektrizitätskonstante und Hygroskopizität. Z.B. kann die Dielektrizitätskonstante des Isolationsfilmes auf einen Bereich von 1,8 bis 3,2 eingestellt werden. Es wurde ebenfalls festge-

stellt, daß der Isolationsfilm entsprechend diesem Ausführungsbeispiel thermisch stabil ist und nicht in der Lage ist, Wasser bei einer Temperatur von nicht mehr als 650°C freizusetzen.

Bei der Halbleitervorrichtung dieses Ausführungsbeispiels, bei dem der oben erwähnte Isolationsfilm als Zwischenschicht-Isolationsfilm oder Passivierungsfilm verwendet wird, ist es möglich, einen Zwischenschicht-Isolationsfilm oder einen Passivierungsfilm zu schaffen, der ausgezeichnet ist bezüglich der verborgenen Form und eine niedrige Dielektrizitätskonstante und Hygroskopizität aufweist. Da der Isolationsfilm entsprechend diesem Ausführungsbeispiel sehr viskos ist, kann die thermische Spannung minimiert werden.

Die Halbleitervorrichtung entsprechend dem zweiten Ausführungsbeispiel dieser Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, daß sie umfaßt: ein Halbleitersubstrat, das ein Element trägt; einen ersten Isolationsfilm, der auf dem Halbleitersubstrat gebildet ist; eine Vielzahl von Leitungen, wobei zumindest eine der Leitungen mit dem Element durch ein Kontaktloch elektrisch verbunden ist; einen zweiten Isolationsfilm, der auf den Leitungen und dem ersten Isolationsfilm, wo die Leitungen nicht gebildet sind, gebildet ist und Silicium, Sauerstoff, Kohlenstoff und Wasserstoff enthält, wobei der Kohlenstoff-Gehalt höher ist als der Silicium-Gehalt; und einen dritten Isolationsfilm, der auf dem zweiten Isolationsfilm gebildet ist und aus einem Material hergestellt ist, das sich von dem Material unterscheidet, das den zweiten Isolationsfilm ausmacht.

Die Halbleitervorrichtung entsprechend dem zweiten Ausführungsbeispiel dieser Erfindung kann durch ein Verfahren hergestellt werden, umfassend die Schritte: Bildung eines ersten Isolationsfilmes auf einem Halbleitersubstrat, das ein Element darauf trägt; Bildung eines Kontaktloches in dem ersten Isolationsfilm; Bildung einer Vielzahl von Leitungen in dem ersten Isolationsfilm, wobei zumindest eine der Vielzahl von Leitungen elektrisch durch das Kontaktloch mit dem Element verbunden ist; Bildung eines zweiten Isolationsfilmes auf dem ersten Isolationsfilm, wo die Leitungen nicht gebildet sind, in der Art, daß ein Raum zwischen den Leitungen verborgen wird, wobei der zweite Isolationsfilm Silicium, Sauerstoff, Kohlenstoff und Wasserstoff enthält, wobei der Kohlenstoff-Gehalt höher ist als der Silicium-Gehalt; und Bildung eines dritten Isolationsfilmes auf der Leitung und auf dem zweiten Isolationsfilm, wobei der dritte Isolationsfilm aus einem Material hergestellt ist, das sich von dem Material unterscheidet, das den zweiten Isolationsfilm ausmacht.

Der zweite Isolationsfilm entsprechend diesem Ausführungsbeispiel kann mit Hilfe eines CVD-Verfahrens gebildet werden, wobei als Ausgangsmaterialien ein organisches Silan und Sauerstoff im angeregten Zustand verwendet und eine Substrat-Temperatur auf -70 bis 50°C eingestellt wird.

Der Ausdruck "ein Material, das sich von dem Material unterscheidet, das den zweiten Isolationsfilm bildet" bedeutet Fälle, bei denen die Elemente, die das Material ausmachen, gleich sind, sich aber bezüglich der Zusammensetzung unterscheiden, ebenso Fälle, bei denen sich die Elemente voneinander unterscheiden, die das Material ausmachen.

Die Filmdicke des dritten Isolationsfilmes, der auf dem zweiten Isolationsfilm angeordnet ist, sollte vorzugsweise dünner sein als die Filmdicke des dritten Isolationsfilmes, der auf einer oberen Fläche des ersten Isolationsfilmes gebildet ist, der zwischen den Leitungen

vorgesehen ist.

Der erste und der dritte Isolationsfilm sollte bevorzugt ein Siliciumdioxid-Film sein.

Da der Isolationsfilm entsprechend dem ersten Ausführungsbeispiel dieser Erfindung als zweiter Isolationsfilm (ein Zwischenschicht-Isolationsfilm) in der Halbleitervorrichtung gemäß diesem Ausführungsbeispiel verwendet wird, ist es möglich, eine Halbleitervorrichtung mit einem zweiten Isolationsfilm (einem Zwischenschicht-Isolationsfilm) zu schaffen, der bezüglich der verborgenen Form ausgezeichnet ist und eine niedrige Dielektrizitätskonstante und Hygroskopizität aufweist, und ein Verfahren zur Herstellung einer solchen Halbleitervorrichtung anzugeben.

Wenn der oben erwähnte zweite Isolationsfilm (ein Zwischenschicht-Isolationsfilm) auf einer Leitung wie einer Al-Leitung gebildet wird, kann verhindert werden, daß die Leitung mit einer großen thermischen Spannung versehen wird, wodurch die Erzeugung einer Spannungsmigration effektiv verhindert wird.

Da der dritte Isolationsfilm, der aus einem anderen Material hergestellt wird, als es für den zweiten Isolationsfilm verwendet wird, auf dem zweiten Isolationsfilm gebildet ist, kann irgendeine Unannehmlichkeit, die von dem zweiten Isolationsfilm resultiert, verhindert werden. Wenn z. B. das gleiche Material wie bei dem konventionellen Zwischenschicht-Isolationsfilm als dritter Isolationsfilm verwendet wird, kann eine obere Leitung auf dem dritten Isolationsfilm durch das gleiche Verfahren wie bei dem konventionellen Verfahren gebildet werden, ohne daß die Eigenschaft des zweiten Isolationsfilmes berücksichtigt wird.

Die Halbleitervorrichtung entsprechend dem dritten Ausführungsbeispiel dieser Erfindung ist gekennzeichnet durch: einen ersten leitenden Film; einen Isolationsfilm, der mit einem Kontaktloch versehen ist, der so gebildet ist, daß der erste leitende Film bedeckt wird; und einen zweiten leitenden Film, der auf dem Isolationsfilm derart gebildet ist, daß er mit dem ersten leitenden Film durch das Kontaktloch elektrisch kontaktiert ist; worin ein Bereich des Isolationsfilmes, der in der Nähe einer Grenzfläche davon mit dem zweiten leitenden Film angeordnet ist, mit Ausnahme eines Bereiches, der an dem Kontaktloch vorgesehen ist, so konstruiert ist, daß er eine Viskosität von 10 000 cp oder mehr aufweist, und wobei der Rest des Isolationsfilmes, mit Ausnahme des Bereiches, der in der Nähe einer Grenzfläche davon mit dem zweiten leitenden Film vorgesehen ist, so konstruiert ist, daß er eine Viskosität von weniger als 10 000 cp hat.

Die Halbleitervorrichtung entsprechend dem dritten Ausführungsbeispiel dieser Erfindung kann durch ein Verfahren hergestellt werden, umfassend die folgenden Schritte: Bildung eines ersten leitenden Filmes auf einem Substrat; Bildung eines Isolationsfilmes mit einer Viskosität von weniger als 10 000 cp, wodurch der erste leitende Film bedeckt wird; Durchführung einer Viskositätssteigerungsbehandlung, wodurch die Viskosität einer Oberfläche des Isolationsfilmes auf nicht weniger als 10 000 cp erhöht wird; und Bildung eines zweiten leitenden Filmes auf dem Isolationsfilm in der Art, daß er mit dem ersten leitenden Film elektrisch in Kontakt steht. Die Halbleitervorrichtung entsprechend dem dritten Ausführungsbeispiel dieser Erfindung kann durch ein Verfahren hergestellt werden, umfassend die Schritte: Bildung eines ersten leitenden Filmes auf einem Substrat; Bildung eines Isolationsfilmes mit einer Viskosität von weniger als 10 000 cp, wodurch der erste leitende

Film bedeckt wird; Bildung eines zweiten Isolationsfilmes mit einer Viskosität von nicht weniger als 10 000 cp auf dem ersten Isolationsfilm; und Bildung eines zweiten leitenden Filmes auf dem zweiten Isolationsfilm in der Art, daß er mit dem ersten leitenden Film elektrisch in Kontakt steht.

Nachfolgend werden die mehr bevorzugten Merkmale des dritten Ausführungsbeispiels dieser Erfindung angegeben.

- (1) Ein Bereich des Isolationsfilmes, der in der Nähe einer Grenzfläche davon mit einem Bereich des zweiten leitenden Filmes, der an einer Seitenwand des Kontaktloches lokalisiert ist, angeordnet ist, ist so konstruiert, daß er eine Viskosität von 10 000 cp oder mehr aufweist.
- (2) Der Schritt der Erhöhung der Viskosität der Oberflächenschicht des Isolationsfilmes auf nicht weniger als 10 000 cp wird durchgeführt, indem der Isolationsfilm einem Plasma aus einem Gas ausgesetzt wird, umfassend zumindest ein Molekül, das Sauerstoffatome enthält.
- (3) Der Schritt der Erhöhung einer Viskosität einer Oberflächenschicht des Isolationsfilmes auf nicht weniger als 10 000 cp wird durchgeführt, indem der Isolationsfilm einem Gas ausgesetzt wird, das Sauerstoffradikale, Ozon oder Wasserstoffradikale enthält.
- (4) Der Schritt der Erhöhung einer Viskosität der Oberflächenschicht des Isolationsfilmes auf nicht weniger als 10 000 cp wird durch Bestrahlen des Isolationsfilmes mit einer Infrarot-Strahlenquelle mit einer Wellenlänge von 2,6 bis 3,5 μm durchgeführt.
- (5) Der Schritt der Erhöhung einer Viskosität einer Oberflächenschicht eines Isolationsfilmes auf nicht weniger als 10 000 cp wird durch Bestrahlen des Isolationsfilmes mit einer Ultraviolett-Strahlenquelle mit einer Wellenlänge von 142 bis 308 nm durchgeführt.
- (6) Der Schritt der Erhöhung einer Viskosität einer Oberflächenschicht des Isolationsfilmes auf nicht weniger als 10 000 cp wird durch Aussetzen des Isolationsfilmes einer Mikrowelle in einer Atmosphäre aus einem Gas, umfassend zumindest ein sauerstoffatomhaltiges Molekül; einer Atmosphäre aus einem Inertgas oder einer Atmosphäre mit vermindertem Druck durchgeführt.
- (7) Der Schritt der Erhöhung einer Viskosität einer Oberflächenschicht des Isolationsfilmes auf nicht weniger als 10 000 cp wird durch Erwärmen des Substrates, das den Isolationsfilm darauf trägt, bei einer Erwärmungsrate von 10°C/s und durch Halten der Erwärmungstemperatur auf 450°C oder weniger durchgeführt.
- (8) Der Schritt der Erhöhung einer Viskosität einer Oberflächenschicht des Isolationsfilmes auf nicht weniger als 10 000 cp wird durch Erwärmen des Substrates, das den Isolationsfilm darauf trägt, bei einer Erwärmungsrate von 10°C/s durchgeführt, wodurch die Oberflächenschicht des Isolationsfilmes auf eine Temperatur im Bereich von 450°C bis 700°C erwärmt wird.
- (9) Eine Anlage, die in der Lage ist, kontinuierlich, ohne den Vakuumzustand zu verlassen, den Schritt der Bildung eines Isolationsfilmes mit einer Viskosität von weniger als 10 000 cp, zum Bedecken des ersten leitenden Filmes und den Schritt der Erhö-

hung der Viskosität einer Oberflächenschicht des Isolationsfilmes auf nicht weniger als 10 000 cp durchzuführen, wird verwendet.

(10) Die Anlage der oben erwähnten Ausführungsform (9) wird so konstruiert, daß der oben erwähnte Schritt der kontinuierlichen Durchführung ohne Brechen des Vakuumzustandes in demselben Vakuumbehälter durchgeführt werden kann.

(11) In dem oben erwähnten Ausführungsbeispiel (1) ist der verwendete Isolationsfilm einer, der durch ein CVD-Verfahren gebildet ist.

(12) Bei den oben erwähnten Ausführungsformen (2) bis (8) wird die Bildung des Isolationsfilmes durch ein CVD-Verfahren erreicht.

(13) Bei den oben erwähnten Ausführungen (9) und (10) wird die Bildung des Isolationsfilmes durch Verwendung einer CVD-Anlage erreicht.

(14) Bei der obigen Ausführungsform (1) ist ein Bereich des Isolationsfilmes, der in der Nähe einer Grenzfläche davon mit einem Bereich des zweiten Isolationsfilmes, der an einer Seitenwand des Kontaktloches lokalisiert ist, angeordnet ist, so konstruiert, daß die Gleichung erfüllt wird: $d_{\text{max}} \leq 0,1 t_{\text{max}}$, worin t_{max} eine maximale Filmdicke des Isolationsfilmes bedeutet und d_{max} eine maximale Entfernung von der Grenzfläche davon mit dem zweiten leitenden Film zu dem Bereich des Isolationsfilmes bedeutet, der in der Nähe der Zwischenfläche angeordnet ist.

(15) In der obigen Ausführungsform (1) ist ein Bereich des Isolationsfilmes, der in der Nähe einer Grenzfläche davon mit einem Bereich des zweiten leitenden Filmes, der an einer Seitenwand des Kontaktloches lokalisiert ist, angeordnet ist, so konstruiert, daß die folgende Gleichung erfüllt wird: $10 \text{ nm} \leq d_{\text{max}} \leq 100 \text{ nm}$, worin d_{max} eine maximale Entfernung von der Grenzfläche davon mit dem zweiten leitenden Film zu dem Bereich des Isolationsfilmes bedeutet, der in der Nähe der Grenzfläche angeordnet ist.

(16) In der oben erwähnten Ausführungsform (1) ist ein Bereich des Isolationsfilmes, der in der Nähe einer Grenzfläche davon mit einem Bereich des zweiten leitenden Filmes, der an einer Seitenwand des Kontaktloches lokalisiert ist, angeordnet ist, so konstruiert, daß die Gleichung erfüllt wird: $d_{\text{max}} \leq 0,1 t_{\text{max}}$, worin t_{max} eine maximale Filmdicke des Isolationsfilmes ist und d_{max} eine maximale Entfernung von der Seitenwand des Kontaktloches zu dem Isolationsfilm bedeutet.

(17) In dem oben erwähnten Ausführungsbeispiel (1) ist ein Bereich des Isolationsfilmes, der in der Nähe einer Grenzfläche davon mit einem Bereich des zweiten leitenden Filmes, der an einer Seitenwand des Kontaktloches lokalisiert ist, vorgesehen ist, so konstruiert, daß die Gleichung erfüllt wird: $10 \text{ nm} \leq d_{\text{max}} \leq 100 \text{ nm}$, worin d_{max} eine maximale Entfernung von der Seitenwand des Kontaktloches zu dem Isolationsfilm bedeutet.

(18) Bei den oben erwähnten Ausführungsformen (2) bis (8), (9) und (10) wird die Oberflächenschicht des Isolationsfilmes so konstruiert, daß die Gleichung erfüllt ist: $d_{\text{max}} \leq 0,1 t_{\text{max}}$, worin t_{max} eine maximale Filmdicke des Isolationsfilmes bedeutet und d_{max} eine maximale Entfernung von der Oberfläche des Isolationsfilmes zu der Oberflächenschicht des Isolationsfilmes bedeutet.

(19) Bei den obigen Ausführungsformen (2) bis (8),

(9) und (10) ist die Oberflächenschicht des Isolationsfilmes so konstruiert, daß die Gleichung erfüllt wird: $10 \text{ nm} \leq d_{\text{max}} \leq 100 \text{ nm}$, worin d_{max} eine maximale Entfernung von der Oberfläche des Isolationsfilmes zu der Oberflächenschicht des Isolationsfilmes bedeutet

(20) Als Anlage für die Herstellung der Halbleitervorrichtung, umfassend einen ersten leitenden Film, einen Isolationsfilm, der mit einem Kontaktloch versehen ist, der so gebildet ist, daß der erste leitende Film bedeckt wird, und einen zweiten leitenden Film, der auf dem Isolationsfilm derart gebildet ist, daß er mit dem ersten leitenden Film über das Kontaktloch elektrisch kontaktiert ist, wird eine Anlage verwendet, die in der Lage ist, kontinuierlich ohne Bruch des Vakuumzustandes den Schritt der Bildung eines ersten Isolationsfilmes mit einer Viskosität von weniger als 10 000 cp zum Bedecken des ersten leitenden Filmes und den Schritt der Bildung eines zweiten Isolationsfilmes mit einer Viskosität von nicht weniger als 10 000 cp durchzuführen.

(21) In dem oben erwähnten Ausführungsbeispiel (20) wird der oben erwähnte Schritt der kontinuierlichen Durchführung ohne Bruch des Vakuumzustandes in demselben Vakuumbehälter durchgeführt.

(22) Die Viskositätserhöhungsbehandlung wird vor und/oder nach dem Schritt der Bildung eines Kontaktloches zum elektrischen Verbinden des ersten leitenden Filmes mit dem zweiten leitenden Film durchgeführt.

Die Viskositätserhöhungsbehandlung sollte bevorzugt vor dem Schritt der Bildung eines Kontaktloches im Hinblick auf die Bildung eines Resistmusters mit einer ausgezeichneten Form und die Bildung eines Kontaktloches mit einer ausgezeichneten Form durchgeführt werden. Wenn die Viskositätserhöhungsbehandlung nach der Bildung des Kontaktloches durchgeführt wird, wird die Viskositätserhöhungsbehandlung ebenfalls an der Seitenwand des Kontaktloches bewirkt, so daß die Verschlechterung der Eigenschaft aufgrund der Aussetzung davon einem anschließendem Bedampfungspasma inhibiert werden kann.

Wie oben erläutert, hat bei der Halbleitervorrichtung entsprechend dem dritten Ausführungsbeispiel dieser Erfindung nicht der gesamte Isolationsfilm eine niedrige Viskosität, sondern nur ein Teil des Isolationsfilmes, auf dem der obere zweite leitende Film gebildet wird, hat eine erhöhte Viskosität, so daß es möglich ist, einen Isolationsfilm zu erhalten, der bezüglich der verborgenen Form in einer Rille ausgezeichnet ist im Vergleich zu dem konventionellem Isolationsfilm, und gleichzeitig irgendwelche schlechten Einflüsse auf die anschließenden Verfahren zu minimieren (z. B. bei der Bildung eines Kontaktloches oder bei der Bildung einer Leitung).

Es ist bekannt, daß es möglich ist, einen Isolationsfilm mit niedriger Viskosität, niedriger Dielektrizitätskonstante und niedriger Hygroskopizität (der einem Isolationsfilm mit einer Viskosität von weniger als 10 000 cp gemäß dieser Erfindung entspricht) durch Verwendung eines Kondensations-CVD-Verfahrens zu bilden.

Wenn ein metallischer Film, der als Leitung verwendet wird, auf einem Isolationsfilm mit einer derartig niedrigen Viskosität mit Hilfe des Bedampfungsverfahrens wie ein Magnetronbedampfen gebildet wird, wird jedoch die Oberfläche des Isolationsfilmes durch das bei dem Bedampfen verwendete Plasma sehr beschädigt.

Als Ergebnis kann ein Teil der chemischen Bindung eines Moleküls, das den Isolationsfilm ausmacht, aufgespalten werden oder eine irreguläre Grenzfläche kann zwischen dem Isolationsfilm und einer Leitung, die darauf gebildet werden soll (die dem zweiten leitenden Film dieser Erfindung entspricht) gebildet werden, wodurch verschiedene Probleme wie die Erzeugung eines Verluststromes zwischen einem Paar von Leitungen, die auf beiden Seiten des Isolationsfilmes angeordnet sind (entsprechend dem ersten und dem zweiten Leitungsfilm dieser Erfindung) oder die Zerstörung des Isolationsfilmes verursacht werden.

Wenn jedoch ein Bereich des Isolationsfilmes, auf dem der obere zweite leitende Film niedergeschlagen ist, eine hohe Viskosität aufweist wie bei dem dritten Ausführungsbeispiel dieser Erfindung, kann die Schädigung der Oberfläche des Isolationsfilmes durch das Plasma minimiert werden, wodurch es möglich wird, eine Zerstörung der Isolationseigenschaft des Isolationsfilmes effektiv zu verhindern.

Wenn weiterhin ein Durchgangsloch zum Verbinden der oberen Leitung mit der unteren Leitung in einem Isolationsfilm niedriger Viskosität gebildet wird, kann die Stelle und die Form des Durchgangsloches aufgrund der Deformation des Isolationsfilmes instabil werden. Wenn die Viskosität eines Teils des Isolationsfilmes erhöht wird, wie es durch diese Erfindung vorgeschlagen wird, kann ein solches Problem, das bei der Bildung eines Durchgangsloches involviert ist, vermieden werden.

Diese Erfindung wird unter Bezugnahme auf verschiedene Merkmale, die in den Zeichnungen gezeigt sind, erläutert.

(Beispiel 1)

Fig. 1 ist eine schematische Sicht einer Halbleiter-Herstellungsvorrichtung, die gemäß einem ersten Beispiel dieser Erfindung verwendet wird.

In Fig. 1 bedeutet Bezugszeichen 1 einen Vakuumbehälter, an dem eine Auslaßanlage (nicht gezeigt) über einer Auslaßöffnung 2 verbunden ist. Dieser Vakuumbehälter 1 wird durch die Auslaßanlage auf ein Vakuum von 2×10^{-7} Torr oder mehr evakuiert. Ein Substrat-Befestigungstisch 3, hergestellt aus rostfreiem Stahl, ist im Inneren des Vakuumbehälters 1 angeordnet, und ein Silicium-Substrat 4 ist auf diesem Substrat-Befestigungstisch 3 vorgesehen.

Der Vakuumbehälter 1 ist weiterhin mit verschiedenen Rohren um Zuführen von verschiedenen Gasen in den Vakuumbehälter 1 verbunden. Ein Rohr 5 aus rostfreiem Stahl zum Zuführen von Sauerstoffgas, ein Rohr 15 aus rostfreiem Stahl zum Zuführen von Tetramethylsilan ($\text{Si}(\text{CH}_3)_4$, nachfolgend einfach mit TMS bezeichnet) und ein Rohr 30 aus rostfreiem Stahl zum Zuführen von Stickstoffgas sind mit dem Vakuumbehälter 1 verbunden. Das Rohr 5 zum Zuführen von Sauerstoffgas (der Einfachheit halber ist eine Sauerstoff-Zufuhranlage in Fig. 1 weggelassen) ist mit einem Stopppventil 6, einem Massenflußsteuergerät 7, einem Stopppventil 8 und einer Verbindung 9 versehen. Der distale Endbereich des Sauerstoff-Zufuhrrohres 5 ist mit einem Al_2O_3 -Rohr 11 verbunden.

Dieses Al_2O_3 -Rohr 11 wird mit dem Vakuumbehälter 1 über eine Verbindung 12 verbunden und ist an einem Zwischenbereich davon mit einem Hohlraum 10 für die Mikrowellenentladung versehen. Die Mikrowellenquelle und das Mikrowellenzuführsystem der Mikrowellen-

entladung sind in Fig. 1 weggelassen.

Das Rohr 15 zum Zuführen von TMS (aus Gründen der Einfachheit wird eine TMS-Zuführanlage von Fig. 1 weggelassen) ist mit einem Stoppventil 16, einem Massenflußsteuergerät 17, einem Stoppventil 18 und einem Rohr 19 aus rostfreiem Stahl versehen, das mit dem Vakuumbehälter 1 verbunden ist.

Das durch das Rohr 30 zu führende Stickstoffgas (der Einfachheit halber ist die Stickstoffgas-Zuführeinrichtung von Fig. 1 weggelassen) wird zum Einstellen des Druckes innerhalb des Vakuumbehälters 1 verwendet, d. h. zum Einstellen des Innendruckes des Vakuumbehälters 1 auf atmosphärischen Druck bei dem Hineinlegen des Silicium-Substrates 4 in den Vakuumbehälter 1 oder bei der Herausnahme des Silicium-Substrates 4 daraus oder zum Verkürzen der Zeit, die zum Wiedereinstellen der gekühlten Temperatur des Silicium-Substrates 4 auf Raumtemperatur erforderlich ist, verwendet. Dieses Stickstoffgas kann zum Einstellen des Innendruckes des Vakuumbehälters 1 beim Niederschlagen eines Siliciumdioxid-Filmes auf dem Silicium-Substrat 4 verwendet werden.

Das Rohr 30 ist mit einem Stoppventil 31, einem Massenflußsteuergerät 32, einem Stoppventil 33 und einem Rohr 34 aus rostfreiem Stahl versehen, das mit dem Vakuumbehälter 1 verbunden ist.

Der Substrat-Befestigungstisch 3 ist mit Kupferrohren 35a und 35b zum Kühlen oder Erwärmen des Substrat-Befestigungstisches 3 versehen (das Kupferrohr 35a bedeutet ein Rohr, das an der Gaseinflußseite angeordnet ist, während das Kupferrohr 35b ein Rohr bedeutet, das an der Gasausflußseite vorgesehen ist), wobei diese Kupferrohre 35a und 35b in dem Substrat-Befestigungstisch 3 verborgen sind. Diese Kupferrohre 35a und 35b sind mit dem Stickstoff-Zuführsystem zum Durchführen eines gekühlten Stickstoffgases oder eines Stickstoffgases mit Raumtemperatur verbunden, wie in Fig. 2 gezeigt ist.

Unter Bezugnahme auf das Stickstoffzuführsystem, das in Fig. 2 gezeigt ist, bedeutet Bezugsziffer 101 ein Rohr zum Zuführen von Stickstoffgas, das mit einer Stickstoff-Zuführanlage verbunden ist (nicht gezeigt). Dieses Rohr 101 ist mit einem Stoppventil 102, einem Massenflußsteuergerät 103, Stoppventilen 104 und 105 versehen, und der distale Endbereich des Rohres 101 ist mit dem Rohr 35a zum Kühlen oder Erwärmen des Substrat-Befestigungstisches 3, der in Fig. 1 gezeigt ist, verbunden.

Mit diesem Rohr 101 sind ein Paar von Verzweigungsrohren 106 und 109 verbunden, die von der Aufstromseite und der Abstromseite des Stoppventils 105 abgezweigt sind. Das Verzweigungsrohr 106 ist durch ein Stoppventil 107 mit einem Spiralrohr 108 verbunden, das wiederum durch ein Stoppventil 110 mit Abzweigungsrohr 109 verbunden ist, das mit dem Rohr 35a verbunden ist, das in Fig. 1 gezeigt ist.

Das Spiralrohr 108 ist in flüssigen Stickstoff 112 getaucht, der in einem Behälter 111 aus flüssigem Stickstoff gefüllt ist, um so das Stickstoffgas, das durch das Spiralrohr 108 fließt, auf eine Temperatur zu kühlen, die in etwa der Temperatur des flüssigen Stickstoffs entspricht.

Wenn das Silicium-Substrat 4 gekühlt werden soll, kann das Stickstoffgas durch das Spiralrohr 108 fließen. Wenn auf der anderen Seite die Temperatur des Silicium-Substrates 4, das somit gekühlt ist, wieder auf Raumtemperatur nach der Bildung eines Siliciumdioxid-Filmes erhöht werden soll, wird das Ventil 105 geöffnet,

zum Zuführen eines Stickstoffgases mit Raumtemperatur zu dem Rohr 35.

Durch Führen des einen Stickstoffgases, während es durch das Massenflußsteuergerät gesteuert und durch das flüssige Stickstoffgas gekühlt ist, von dem Rohr 35a zu dem Rohr 35b, können der Substrat-Befestigungstisch 3 ebenso wie das Silicium-Substrat 4 auf eine gewünschte Temperatur heruntergekühlt werden.

Unter erneuter Bezugnahme auf Fig. 1 ist der Substrat-Befestigungstisch 3 ebenfalls mit einem Gehäuseerwärmer 36 versehen, der als Erwärmungsquelle zum Erwärmen des Silicium-Substrates 4 auf eine gewünschte Temperatur funktioniert. Die Energiequelle für diesen Gehäuseerwärmer 36 ist von Fig. 1 weggelassen.

Die Wand des Vakuumbehälters 1 ist aus einer Zweischichtstruktur gebildet und mit einer Erwärmungsquelle 41 zum Erwärmen der Wand und einem Wärmeisolationmaterial 42 versehen. Die Temperatur der Wand des Vakuumbehälters 1 wird bei diesem Beispiel auf 80°C eingestellt. Die Energiequelle der Erwärmungsquelle 41 ist in Fig. 1 weggelassen.

Als nächstes wird ein Verfahren zur Bildung eines Zwischenschicht-Isolationsfilmes unter Verwendung der Halbleiter-Herstellungsanlage mit dem oben erwähnten Aufbau erläutert.

Zunächst wird das Innere des Vakuumbehälters 1 auf atmosphärischen Druck eingestellt, und ein Silicium-Substrat 4, das darauf gewünschte Elemente trägt, wird auf einem Substrat-Befestigungstisch 3 befestigt. In diesem Fall kann eine evakuierte Ersatzkammer vorgesehen sein, damit das Silicium-Substrat 4 automatisch zu dem Vakuumbehälter übertragen werden kann, indem ein Roboterarm verwendet wird. Dann wird das Innere des Vakuumbehälters über die Auslaßöffnung 2 auf ein endgültiges Vakuum eingestellt, wobei ein Vakuum von wenigstens 1×10^{-7} Torr in diesem Fall eingestellt werden sollte.

Dann kann ein gekühltes Stickstoffgas durch eine Passage zwischen dem Kupferrohr 35a und dem Kupferrohr 35b geleitet werden, wodurch der Substrat-Befestigungstisch 3 auf eine bestimmte Temperatur von etwa -100 bis -25°C gekühlt wird. Wenn der Substrat-Befestigungstisch 3 auf den oben erwähnten Bereich herabgekühlt wird, ist die Temperatur des Silicium-Substrates 4 (Substrat-Temperatur) -80 bis -25°C . Nachdem die Stabilisierung der Substrat-Temperatur bei einer gewünschten Temperatur bestätigt ist, wird das Massenflußsteuergerät 17 für TMS auf 1 bis 100 cm^3/min eingestellt, und die Stoppventile 16 und 18 werden zum Einführen von TMS in den Vakuumbehälter 1 geöffnet.

Danach wird das Massenflußsteuergerät 10 für das Sauerstoffgas auf 1 bis 1000 cm^3/min eingestellt und die Stoppventile 6 und 8 werden zum Einführen von Sauerstoffgas in den Vakuumbehälter 1 geöffnet. In diesem Fall kann der Druck in dem Vakuumbehälter 1 auf etwa 10 mTorr bis etwa 500 Torr durch Wechseln der Konduktanz der Auslaßöffnung 2 erhöht werden, wobei der Partialdruck 2 bis 200 Torr für TMS und 2 bis 400 Torr für Sauerstoffgas ist.

Nach dem Stabilisieren der Flußrate von Sauerstoff wird dann eine Mikrowelle mit etwa 100 Watt bis 5 kWatt aufgedrückt, um dadurch die Mikrowellenentladung von Sauerstoffgas zu induzieren. Durch Definieren der Zeit, wenn die Mikrowellenentladung initiiert wird, als Filmniederschlagsstartzeit, wird die Filmniederschlagszeit geeignet ausgewählt, um dadurch einen Zwischenschicht-Isolationsfilm, bestehend aus einer

Verbindung, umfassend Silicium, Sauerstoff, Kohlenstoff und Wasserstoff, auf dem Silicium-Substrat 4 niederschlagen.

Das Beenden des oben erwähnten Niederschlages kann folgendermaßen durchgeführt werden.

Zunächst wird der Ausstoß der Mikrowellenleistung abgeschaltet, um die Mikrowellenfreisetzung zu stoppen. Die Zeit dieser Abstellung wird als Niederschlagbeendigungszeit definiert. Dann werden die Stoppventile 28 und 18 geschlossen, zum Stoppen der Zufuhr vom TMS, und danach wird das Stoppventil 8 geschlossen, zum Stoppen der Zufuhr von Sauerstoffgas. Dann wird die Zufuhr des kühlenden Stickstoffgases, das zwischen dem Rohr 35a und dem Rohr 35b fließt, auf gleiche Weise wie oben beendet, und dadurch kann ein Stickstoffgas mit Raumtemperatur in den Vakuumbehälter 1 fließen.

In diesem Fall wird das Massenflußsteuergerät 32 für das Stickstoffgas auf 1 bis 10 l/min eingestellt, und die Stoppventile 31 und 32 werden geöffnet, zum Einführen von Stickstoffgas von dem Rohr 34 in den Vakuumbehälter 1, um so das Innere des Vakuumbehälters 1 auf einen Druck in etwa auf atmosphärischen Druck einzustellen, und gleichzeitig wird die Temperatur des Silicium-Substrates 4 erneut auf Raumtemperatur angehoben.

Schließlich wird das Innere des Vakuumbehälters 1 auf atmosphärischen Druck eingestellt und das Silicium-Substrat 4 aus dem Vakuumbehälter 1 herausgenommen. Falls gewünscht, kann das nächste Silicium-Substrat zu diesem Zeitpunkt auf dem Substratbefestigungstisch 3 befestigt werden. Eine Folge von Vorgängen für die Bildung eines Zwischenschicht-Isolationsfilmes wird auf diese Weise vollendet.

Wie oben erläutert, wird nach diesem Beispiel ein Zwischenschicht-Isolationsfilm, bestehend aus einer Verbindung, umfassend Silicium, Sauerstoff, Kohlenstoff und Wasserstoff, in einem Filmbildungszustand gebildet, wobei der Gehalt an Kohlenstoff größer ist als der Gehalt an Silicium. Es wurde festgestellt, daß dann, wenn in einem Zwischenschicht-Isolationsfilm, bestehend aus einer Verbindung, umfassend Silicium, Sauerstoff, Kohlenstoff und Wasserstoff, der Gehalt an Kohlenstoff größer ist als der Gehalt an Silicium, der resultierende Isolationsfilm bei Raumtemperatur viskos wird, wodurch es möglich wird, die Stufenbedeckungseigenschaft des Isolationsfilmes zu verbessern. Es wurde ebenfalls festgestellt, daß ein derartiger viskoser Isolationsfilm, bestehend aus einer Verbindung, umfassend Silicium, Sauerstoff, Kohlenstoff und Wasserstoff, eine niedrige Dielektrizitätskonstante und Hygroskopizität aufweist.

Daher ist es erfindungsgemäß möglich, einen Zwischenschicht-Isolationsfilm oder einen Isolationsschutzfilm zu erhalten, der bezüglich der Stufenbedeckungseigenschaft ausgezeichnet ist und sowohl eine niedrige Dielektrizitätskonstante als auch niedrige Hygroskopizität hat.

(Beispiel 2)

Fig. 3A bzw. 3B zeigen einen Querschnitt, der einen Schritt der Herstellung einer Halbleitervorrichtung entsprechend einem zweiten Beispiel dieser Erfindung erläutert.

Fig. 3A zeigt einen schematischen Querschnitt durch ein Silicium-Substrat 201, bevor ein Zwischenschicht-Isolationsfilm darauf niedergeschlagen ist. Nachdem ein

Siliciumdioxid-Film 202 auf dem Silicium-Substrat 201, das zuvor mit einem isolierten Elementbereich versehen wurde, gebildet ist, wird der Siliciumdioxid-Film 202 selektiv von einem Kontaktloch weggeätzt, und dann wird ein Al-1% Si-0,5% Cu-Film (nachfolgend einfach mit Al-Legierungsfilm bezeichnet), der als Verbindungsleitung 203 funktioniert, niedergeschlagen und geätzt, wodurch ein gewünschtes Leitungsmuster gebildet wird, wie in Fig. 3A gezeigt ist.

Anschließend wurde das Silicium-Substrat 201 auf dem Substratbefestigungstisch 3 angeordnet, der in dem Vakuumbehälter 1 einer Halbleiter-Herstellungsanlage der gleichen Art wie bei dem oben erwähnten Beispiel 1 vorgesehen ist, und die gleiche Vorgehensweisen, wie sie in Beispiel 1 gezeigt sind, wurden wiederholt, zur Bildung eines Zwischenschicht-Isolationsfilmes 204 über der gesamten Oberfläche des Substrates 201, wie in Fig. 3B gezeigt ist.

Mehr spezifisch wurde der Zwischenschicht-Isolationsfilm 204 unter folgenden Filmbildungsbedingungen gebildet: 20 cm³/min Flußrate TMS, 200 cm³/min Flußrate Sauerstoffgas, 0,2 Torr Niederschlagsdruck, 200 Watt Mikrowellenleistung, -30°C Substrat-Temperatur und 2 min Niederschlagszeit. Unter diesen Filmbildungsbedingungen war die Niederschlagsrate des Zwischenschicht-Isolationsfilmes 204 etwa 0,5 µm/min.

Wenn die unter diesen Bedingungen erhaltene Probe mit Hilfe eines Raster-Elektronenmikroskopes (SEM) beobachtet wurde, wurde festgestellt, daß der Zwischenschicht-Isolationsfilm 204 in der gesamten Rille zwischen den Verbindungsleitungen 203 auf gleiche Weise niedergeschlagen war als wenn ein Becher mit einer Flüssigkeit gefüllt würde, d. h. es war in dem Zwischenschicht-Isolationsfilm 204, der in der Rille angeordnet war, überhaupt kein Loch vorhanden.

In einem anderen Experiment, das durch diese Erfinder durchgeführt wurde, wurde ein Isolationsfilm auf der flachen Oberfläche eines Silicium-Substrates entsprechend der gleichen Vorgehensweise wie oben gebildet, und der resultierende Isolationsfilm wurde mit Hilfe eines Transmissionsverfahrens unter Verwendung eines Fourier-Transform-Infrarotspektrometers analysiert.

Als Ergebnis waren die Absorptions-Peaks, die beobachtet werden konnten, ein Schwingungs-Peak von Si-O-Si und ein Absorptions-Peak von Si-CH₃. Das Verhältnis des Si-CH₃-Peaks zu dem Si-O-Si-Peak war 10 bis 50%.

Es kann wegen der Ungenauigkeit der Detektionsempfindlichkeit unmöglich sein, den Gehalt einer jeden Komponente von diesen Daten direkt abzuleiten. Wenn jedoch der gesamte Isolationsfilm durch Verwendung eines chemischen Benetzungsverfahrens aufgelöst und die resultierende Lösung mit Hilfe eines Atomabsorptionsverfahrens untersucht wurde, wurde festgestellt, daß das Zusammensetzungsverhältnis von Kohlenstoff (C) und Silicium (Si) etwa 1 : 1 bis 30 : 1 ist, was in jedem Fall einen größeren Gehalt von C im Vergleich zu Si anzeigt.

Wenn das Endvakuum des Vakuumbehälters 1 verhältnismäßig niedrig war, trat ein Peak von H₂O in jedem Experiment auf. Im Hinblick darauf sollte das Endvakuum des Vakuumbehälters 1 bevorzugt so hoch wie möglich sein.

Es kann gesagt werden, daß der oben erwähnte Isolationsfilm oder der Zwischenschicht-Isolationsfilm 204 eher ein Isolationsöl mit einer hohen Viskosität als ein Isolationsfilm ist, da festgestellt wurde, daß die Viskosität des Isolationsfilmes 100 bis 3000 cps ist. Auf der

anderen Seite wurde festgestellt, daß die Dielektrizitätskonstante des Isolationsfilmes etwa 1,8 bis 3,2 war.

Wenn die Hygroskopizität des Isolationsfilmes oder des Zwischenschicht-Isolationsfilmes 204 durch Durchlassen des Filmes in Luftatmosphäre untersucht wurde, trat die Absorption von Wasser schwer auf.

Wenn darüber hinaus der Isolationsfilm oder der Zwischenschicht-Isolationsfilm 204 auf bis zu 650°C im Vakuum erwärmt wurde und die davon freigesetzten Gase unter Verwendung eines Massenspektrometers zum Untersuchen der thermischen Stabilität des Filmes gemessen wurden, wurde eine kleine Menge an H₂O bei einer Temperatur von 300°C ermittelt, und in einem Temperaturbereich von 300 bis 650°C wurden nur Peaks ermittelt, die C und H beinhalten, d. h. ein Peak mit H₂O wurde bei diesem Temperaturbereich überhaupt nicht ermittelt.

Bei einem anderen Experiment wurde ein Siliciumdioxid-Film mit 0,5 µm Dicke auf einem Silicium-Substrat gebildet, und dann wurde ein Al-Legierungsfilm mit einer Dicke von 0,9 µm darauf mit Hilfe eines üblichen Magnetron-Bedampfungsverfahrens gebildet. Dann wurde auf dem Al-Legierungsfilm durch Anwendung eines üblichen Lichtbestrahlungsverfahrens und eines reaktiven Ionen-Bedampfens ein Muster gebildet, um dadurch eine Verbindungsleitung zu bilden, die aus der Al-Legierung bestand. Anschließend wurde ein Isolationsfilm mit einer Dicke von 2 µm über der gesamten oberen Fläche des Silicium-Substrates entsprechend dem Verfahren dieses Beispiels niedergeschlagen, unter Erhalt einer Probe A. Auf der anderen Seite wurde ein Siliciumdioxid-Film mit einer Dicke von 2 µm auf der gesamten Oberfläche des Silicium-Substrates entsprechend einem üblichem Plasma-CVD-Verfahren niedergeschlagen, unter Erhalt einer Probe B. Wenn mit diesen Proben ein elektrischer Zuverlässigkeitsversuch durchgeführt wurde, zeigte die Probe A eine deutlich höhere Zuverlässigkeit als die Probe B an.

Da der Zwischenschicht-Isolationsfilm 204, der entsprechend diesem Beispiel gebildet war, viskos war, war der Film im Vergleich zu dem konventionellem Siliciumdioxid-Film ziemlich weich. Der Hauptgrund, warum der Isolationsfilm 204 eine außerordentlich hohe elektrische Zuverlässigkeit im Vergleich zu dem konventionellen Siliciumdioxid-Film anzeigt, kann der Tatsache zugeschrieben werden, daß der Isolationsfilm 204 weich genug war, um von irgendwelchen Spannungen frei zu sein, die bei einem konventionellen Siliciumdioxid-Film gefunden werden, so daß irgendwelche Mängel aufgrund thermischer Spannung vermieden werden konnten.

(Beispiel 3)

Fig. 4 zeigt eine schematische Sicht einer Halbleiter-Herstellungsvorrichtung, die gemäß einem dritten Beispiel dieser Erfindung verwendet wird.

In Fig. 4 bedeutet Bezugszeichen 301 einen Vakuumbehälter, an dem eine Auslaßanlage (nicht gezeigt) über eine Auslaßöffnung 302 verbunden ist, um so zu ermöglichen, daß das Innere des Vakuumbehälters 301 auf ein hohes Vakuum eingestellt werden kann. Denn das Endvakuum dieses Vakuumbehälters 301 ist 2×10^{-7} Torr oder mehr. Die Auslaßanlage ist in Fig. 4 zur Vereinfachung der Erläuterung nicht gezeigt.

Ein Substrat-Befestigungstisch 303 zum Tragen eines Substrates ist im Inneren des Vakuumbehälters 301 angeordnet, und ein Silicium-Substrat 304 ist auf diesem

Substrat-Befestigungstisch 303 angeordnet.

Der Vakuumbehälter 301 ist mit verschiedenen Rohren zum Zuführen von verschiedenen Gasen in den Vakuumbehälter 301 verbunden. Ein Rohr 305 zum Zuführen von Sauerstoffgas, ein Rohr 315 zum Zuführen eines organischen Silans wie TMS und ein Rohr 330 zum Zuführen von Stickstoffgas sind mit dem Vakuumbehälter 301 verbunden. Das Rohr 305 ist aus rostfreiem Stahl hergestellt.

Das Rohr 305 zum Zuführen von Sauerstoffgas (der Einfachheit halber ist eine Sauerstoffzufuhranlage von Fig. 4 weggelassen) ist mit einem Stoppventil 306, einem Massenflußsteuergerät 307, einem Stoppventil 308 und einer Verbindung 309 versehen. Der distale Endbereich des Sauerstoffzuführrohres 305 ist mit einem Al₂O₃-Rohr 311 verbunden.

Dieses Al₂O₃-Rohr 311 ist mit einem rostfreien Rohr 313 über eine Verbindung 312 verbunden, die mit dem Vakuumbehälter 301 verbunden ist. Das Al₂O₃-Rohr 311 ist an einem Mittelbereich davon mit einem Hohlraum 310 für die Mikrowellenentladung versehen (aus Gründen der Einfachheit sind eine Mikrowellenquelle und ein Mikrowellenzuführsystem in Fig. 4 weggelassen).

Das rostfreie Rohr 313 ist mit einem Sprühkopf 314 verbunden, der in dem Vakuumbehälter 301 derart vorgesehen ist, daß er dem Substrat-Befestigungstisch 303 gegenüber liegt. Das von dem rostfreien Rohr 313 zugeführte Sauerstoffgas wird, während es mit TMS reagiert wird, zu dem Substrat über den Sprühkopf 314 zugeführt. Der Sprühkopf 314 kann auf eine gewünschte Temperatur in dem Bereich von -70°C bis 100°C erwärmt oder gekühlt werden (der Einfachheit halber sind die Erwärmungsquelle und eine Steueranlage für dieses Erwärmen und Kühlen in Fig. 4 weggelassen).

Das Rohr 315 zum Zuführen von TMS (der Einfachheit halber ist eine TMS-Zufuhranlage von Fig. 4 weggelassen) ist mit einem Stoppventil 316, einem Massenflußsteuergerät 317, einem Stoppventil 318 und einem Rohr 319 aus rostfreiem Stahl versehen und mit dem Vakuumbehälter 301 verbunden. Ein Nadelventil, das in der Lage ist, die Flußrate zu steuern, kann anstelle des Massenflußsteuergerätes 317 verwendet werden.

Das Rohr 319 aus rostfreiem Stahl ist mit dem Sprühkopf 314, der in dem Vakuumbehälter 301 vorgesehen ist, verbunden. Wenn Sauerstoffgas und TMS gleichzeitig zugeführt werden, werden diese Gase in dem Sprühkopf 314 vermischt und teilweise miteinander reagiert, so daß die Mischung aus diesen Gasen, die die Reaktionsprodukte beinhalten, zu dem Substrat geführt werden. Es sollte bemerkt werden, daß die Verwendung des Sprühkopfes 314 erfindungsgemäß nicht wesentlich ist, d. h. das organische Silan und das aktivierte Sauerstoffgas können getrennt zu der Nähe der Oberfläche des Substrates geführt werden, wodurch ermöglicht wird, daß diese Gase in der Nähe der Oberfläche des Substrat vermischt werden, wobei nahezu die gleichen Wirkungen erzielt werden.

Das durch das Rohr 330 zu führende Stickstoffgas (der Einfachheit halber ist eine Stickstoffgaszufuhranlage von Fig. 4 weggelassen) wird zum Einstellen des Druckes in dem Vakuumbehälter 301 verwendet, d. h. um den Innendruck des Vakuumbehälters 301 auf atmosphärischen Druck einzustellen, wenn das Silicium-Substrat 304 in den Vakuumbehälter 301 gegeben oder daraus herausgenommen wird, oder um die Zeit zu verkürzen, die zum Einstellen der gekühlten Temperatur des Silicium-Substrates 304 auf Raumtemperatur erforder-

lich ist. Dieses Stickstoffgas kann zum Einstellen des Innendruckes des Vakuumbehälters 301 bei dem Abscheiden eines Isolationsfilms auf dem Silicium-Substrat 304 verwendet werden.

Das Rohr 330 ist über ein Stoppventil 331, ein Massenflußsteuergerät 332, ein Stoppventil 333 und ein Rohr 334 mit dem Vakuumbehälter 301 verbunden.

Der Substrat-Befestigungstisch 303 ist mit Kupferrohren 335a und 335b zum Kühlen oder Erwärmen des Substrat-Befestigungstisches 303 (das Kupferrohr 335a bezeichnet ein Rohr, das an der Gaseinflußseite angeordnet ist, während das Kupferrohr 335b ein Rohr bedeutet, das an der Gasausflußseite angeordnet ist), wobei diese Kupferrohre 335a und 335b in dem Substrat-Befestigungstisch 303 verborgen sind. Diese Kupferrohre 335a und 335b sind mit dem Stickstoffzuführsystem zum Zuführen eines gekühlten Stickstoffgases oder eines Stickstoffgases mit Raumtemperatur verbunden.

Der Substrat-Befestigungstisch 303 ist ebenfalls mit einem Gehäuseerwärmer 336 versehen, der als Erwärmungsquelle zum Erwärmen des Silicium-Substrates 304 auf eine gewünschte Temperatur fungiert. Die Energiequelle dieses Gehäuseerwärmers 336 ist von Fig. 4 weggelassen.

Die Wand des Vakuumbehälters 301 ist aus einer Zweischichtstruktur gebildet und mit einer Erwärmungsquelle 341 zum Erwärmen der Wand und eines Wärmeisulationsmaterials 342 versehen (die Energiequelle der Erwärmungsquelle 341 ist in Fig. 4 weggelassen). Die Wandtemperatur des Vakuumbehälters 301 bei diesem Beispiel wird auf 80°C eingestellt.

Als nächstes wird ein Verfahren zur Bildung eines Isolationsfilmes unter Anwendung der Halbleiter-Herstellungsanlage mit dem oben erwähnten Aufbau erläutert.

Zunächst wird das Innere des Vakuumbehälters 301 wieder auf atmosphärischen Druck eingestellt, und ein Silicium-Substrat 304 wird auf einem Substrat-Befestigungstisch 303 befestigt. In diesem Fall kann eine evakuierte Ersatzkammer neben dem Vakuumbehälter 301 über ein Gate-Ventil vorgesehen sein, um so zu ermöglichen, daß das Silicium-Substrat 304 automatisch zu dem Vakuumbehälter 301 übertragen wird, indem ein Roboterarm verwendet wird. Dann wird das Innere des Vakuumbehälters 301 durch die Auslaßöffnung 302 auf ein Endvakuum evakuiert, wobei in diesem Fall ein Vakuum von wenigstens 1×10^{-7} Torr eingestellt werden sollte.

Dann kann ein gekühltes Stickstoffgas von dem Kupferrohr 335a zu dem Kupferrohr 335b fließen, wobei der Substrat-Befestigungstisch 303 auf eine vorgegebene Temperatur von etwa -100 bis -25°C gekühlt wird. Wenn der Substrat-Befestigungstisch 303 auf den oben erwähnten Bereich heruntergekühlt wird, ist die Temperatur des Silicium-Substrates 304 (Substrat-Temperatur) -80 bis -25°C. Wenn die Stabilisierung der Substrat-Temperatur bei einer gewünschten Temperatur bestätigt ist, wird das Massenflußsteuergerät 317 für TMS auf 1 bis 100 cm³/min eingestellt und die Stoppventile 316 und 318 werden geöffnet, zum Einführen von TMS in den Vakuumbehälter 301.

Danach wird das Massenflußsteuergerät 310 für das Sauerstoffgas auf 1 bis 1000 cm³/min eingestellt, und die Stoppventile 306 und 308 werden geöffnet, zum Einführen von Sauerstoffgas in den Vakuumbehälter 301. In diesem Fall kann der Druck in dem Vakuumbehälter 301 auf etwa 10 mTorr bis 500 Torr eingestellt werden, indem der Konduktanz der Auslaßöffnung 302 geändert wird, wobei der Partialdruck 2 bis 200 Torr für TMS und

2 bis 400 Torr für Sauerstoffgas ist.

Nach dem Stabilisieren der Flußrate von Sauerstoff wird dann eine Mikrowelle von etwa 100 Watt bis 5 kWatt aufgedrückt, um dadurch die Mikrowellenentladung von Sauerstoffgas induzieren. Durch Definieren der Zeit, wenn die Mikrowellenentladung initiiert wird, als Filmniederschlagsstartzeit, wird die Filmniederschlagszeit geeignet ausgewählt, um dadurch einen Siliciumdioxid-Film auf das Silicium-Substrat 304 abzuscheiden.

Bei diesem Beispiel wurde ein aktiviertes Sauerstoffgas direkt in den Vakuumbehälter 301 eingeführt. Da die Flußrate von Sauerstoffgas und die Resonanz der Mikrowelle sich nicht sofort stabilisieren, sobald sie ausgestoßen werden, ist es im Hinblick auf den Erhalt eines Isolationsfilmes mit einer ausgezeichneten Qualität ratsam, das Sauerstoffgas nicht in den Vakuumbehälter 301, sondern über einen Bypass zu leiten, nachdem die Flußrate von Sauerstoffgas und die Resonanz der Mikrowelle stabilisiert sind.

Die Beendigung des oben erwähnten Niederschlages kann durch die folgenden Vorgehensweisen durchgeführt werden.

Zunächst wird der Ausstoß der Mikrowelle abgeschaltet, zum Stoppen der Mikrowellenentladung. Der Zeitpunkt dieser Abscheidung wird als Niederschlagsbeendigungszeit definiert. Dann werden die Stoppventile 328 und 318 geschlossen, zum Stoppen der Zufuhr von TMS, und danach wird das Stoppventil 308 geschlossen, zum Stoppen der Zufuhr von Sauerstoffgas. Dann werden die Zufuhr des kühlenden Stickstoffgases von dem Rohr 335a und dem Rohr 335b auf gleiche Vorgehensweise wie oben erwähnt, gestoppt. Zu diesem Zeitpunkt wird das Massenflußsteuergerät 332 für Stickstoffgas auf 1 bis 10 l/min eingestellt, und die Stoppventile 331 und 332 werden geöffnet, zum Einführen von Stickstoffgas von dem Rohr 334 in den Vakuumbehälter 301, um so das Innere des Vakuumbehälters 301 wieder auf einen Druck in der Nähe von atmosphärischen Druck einzustellen, und gleichzeitig wird die Temperatur des Silicium-Substrates 304 erneut auf Raumtemperatur angehoben.

Schließlich wird das Innere des Vakuumbehälters 301 auf atmosphärischen Druck eingestellt, und das Silicium-Substrat 304 wird aus dem Vakuumbehälter 301 herausgenommen. Falls gewünscht, kann das nächste Silicium-Substrat zu diesem Zeitpunkt auf dem Substrat-Befestigungstisch 303 befestigt werden. Eine Verfahrenssequenz für die Bildung eines Siliciumoxid-Filmes wird auf diese Weise vollendet.

Ein Zwischenschicht-Isolationsfilm wurde auf einem Substrat gebildet, das eine Verbindungsleitung (Probe) trägt, wobei entsprechend den oben erwähnten Vorgehensweisen gearbeitet wurde, wie in den Fig. 5A und 5C gezeigt ist.

Diese Probe wurde wie folgt hergestellt. Zunächst wurde ein thermischer Siliciumdioxid-Film 402 auf dem Silicium-Substrat 401, das ein Element (nicht gezeigt) trägt, mit einer Dicke von etwa 1 µm gebildet, und dann wurde ein Al-1%, Si-0,5%, Cu-Film (nachfolgend einfach mit Al-Legierungsfilm bezeichnet), der als Al-Legierungsleitung 403 fungiert, die mit dem oben erwähnten Element verbunden ist, mit einer Dicke von etwa 0,4 bis 0,9 µm niedergeschlagen. Danach wurde der resultierende Al-Legierungsfilm durch Verwendung eines üblichen Expositionsverfahrens und eines reaktiven Ionen-Ätzens (RIE) ionengeätzt, wodurch eine gewünschte Al-Legierungsleitung gebildet wurde, wie in Fig. 5A ge-

zeigt ist. Diese Al-Legierungsleitung 403 wurde über ein Kontaktloch, das in dem thermischen Siliciumdioxid-Film 402 gebildet ist, mit dem oben erwähnten Element verbunden.

Anschließend wurde das Silicium-Substrat 401 auf dem Substrat-Befestigungstisch 303, der in dem Vakuumbehälter 301 vorgesehen ist, angeordnet, und die gleiche Vorgehensweise, die oben erläutert ist, wurde wiederholt, zur Bildung eines Isolationsfilmes 405, wie in Fig. 5B gezeigt ist.

Mehr spezifisch wurde der Zwischenschicht-Isolationsfilm 204 unter folgenden Filmbildungsbedingungen gebildet:

20 cm³/Flußrate TMS, 200 cm³/min Flußrate Sauerstoffgas, 0,2 Torr Niederschlagsdruck, 200 Watt Mikrowellenleistung, -30°C Substrat-Temperatur und 2 min Niederschlagszeit. Mit diesen Filmbildungsbedingungen war die Niederschlagsrate des Zwischenschicht-Isolationsfilmes 405 etwa 0,1 bis 0,5 um/min. Wenn die unter diesen Bedingungen erhaltene Probe mit Hilfe eines Rasterelektronenmikroskopes (SEM) beobachtet wurde, wurde festgestellt, daß der Isolationsfilm 405 wie in Fig. 5B gezeigt ist, in dem gesamten Zwischenraum 404 zwischen den Leitungen 403 auf gleiche Weise niedergeschlagen ist, als wenn ein Becher mit Wasser gefüllt wäre, d. h. in dem Isolationsfilm 405, der in der Rille niedergeschlagen ist, sind überhaupt keine Löcher vorhanden.

Dann wurde ein SiO₂-Film 406 über dem Isolationsfilm 405 bis zu einer Dicke von etwa 0,5 bis 1 um mit Hilfe einer Plasma-CVD-Anlage vom Parallelplattentyp unter Verwendung von Tetraethoxysilan (TEOS) und Sauerstoff niedergeschlagen (Fig. 5C). Nach Bildung eines Kontaktloches (Durchgangsloch) zum Kontaktieren mit der Al-Legierungsleitung 403 in dem SiO₂-Film 406 wurde eine zweite Schicht aus einer Al-Legierungsleitung gebildet. Danach wurden diese Vorgehensweisen gewünschte Male wiederholt, zur Bildung einer gewünschten Vielschichtleitung. Da der Isolationsfilm 405 viskos ist, sollte der Isolationsfilm 405, der auf der Al-Legierungsleitung gebildet wird, bevorzugt so dünn wie möglich eingestellt werden, damit die anschließenden Schritte angemessen durchgeführt werden können.

Das Hauptmerkmal dieses Beispiels liegt in einem Unterschied der Filmdicke zwischen der Filmdicke "a" des Isolationsfilmes 405, der auf der Al-Legierungsleitung 403 niedergeschlagen ist, und der Filmdicke "b" des Isolationsfilmes 405, der in der Rille 404 niedergeschlagen ist, wie in Fig. 5B gezeigt ist. Die Filmdicke "b" des Isolationsfilmes 405, der in der Rille 404 niedergeschlagen war, war größer als die Filmdicke "a" des Isolationsfilmes 405, der auf der Al-Legierungsleitung 403 niedergeschlagen war.

Fig. 6 erläutert die Beziehung zwischen der Filmdicke "a" und der Filmdicke "b". Wie in Fig. 6 gezeigt ist, ist die Filmdicke "b" deutlich größer als die Filmdicke "a", bis die Rille 404 vollständig mit dem Isolationsfilm 405 gefüllt ist.

Wenn daher der Niederschlag des Isolationsfilmes 405 zu dem Punkt gestoppt wird, der durch das Zeichen "x" in der Fig. 6 angezeigt ist, ist es möglich, eine Struktur zu erhalten, bei der die Rille 405 vollständig mit dem Isolationsfilm 405 gefüllt ist, wobei aber die Oberfläche der Al-Legierungsleitung 403 kaum mit dem Isolationsfilm 405 belegt ist.

Fig. 5B zeigt ein Beispiel, bei dem der Isolationsfilm 405 ebenfalls auf der oberen Fläche der Al-Legierungsleitung 403 niedergeschlagen ist, obwohl die Dicke des

niedergeschlagenen Isolationsfilmes 405 dünn ist. Jedoch muß der Isolationsfilm 405 nicht notwendigerweise auf der Oberfläche der Al-Legierungsleitung 403, sondern kann nur auf dem thermischen Siliciumdioxid-Film niedergeschlagen sein, der zwischen den Leitungen angeordnet ist.

Da der Isolationsfilm 405 bei diesem Beispiel eine verhältnismäßig geringe Dielektrizitätskonstante im Vergleich zu dem üblichen Siliciumdioxid-Film aufweist, selbst wenn der Isolationsfilm 405 nur in dem Raum zwischen den Leitungen vorgesehen ist, ist dies für die Verminderung der Zwischenleitungskapazität in lateraler Richtung wirksam.

Da der Isolationsfilm 405 bei diesem Beispiel viskos ist, ist er im Vergleich zu dem üblichen Siliciumdioxid-Film verhältnismäßig weich. Die Weichheit dieses Isolationsfilmes 405 ist in gewisser Hinsicht von großem Vorteil, kann aber nachteilig werden, wie nachfolgend erläutert. Der Grund für die Verbesserung der elektrischen Zuverlässigkeit des Isolationsfilmes 405 kann der Tatsache zugeschrieben werden, daß der Isolationsfilm 405 weich genug war, um für irgendeine thermischen Spannung frei zu sein, die bei dem konventionellen Siliciumdioxid-Film gefunden wird, so daß irgendwelche Mängel aufgrund der thermischen Spannung vermieden werden.

Auf der anderen Seite kann die Weichheit des Isolationsfilmes 204 zu einem Hindernis für einen anschließenden Schritt werden. Wenn z. B. der Isolationsfilm 405 über eine gesamte Al-Legierungsleitungsschicht, die eine erste Schicht ausmacht, niedergeschlagen wird, und dann eine andere Al-Legierungsleitungsschicht, die eine zweite Schicht ausmacht, auf dem Isolationsfilm 405 durch das übliche Magnetron-Bedampfungsverfahren niedergeschlagen wird, wird der Isolationsfilm 405 aufgrund der Bedampfungswärme faltig, wodurch es unmöglich wird, die Al-Legierungsleitungsschicht darauf gleichmäßig zu bilden und folglich mit den anschließenden Schritten fortzufahren.

Entsprechend diesem Beispiel existierte der weiche Isolationsfilm 405 jedoch hauptsächlich an einem Bereich zwischen den Al-Legierungsleitungen, und die obere Fläche der Al-Legierungsleitung wurde mit einem SiO₂-Film 406 kontaktiert, der durch das übliche Plasma-CVD-Verfahren gebildet war. Natürlich muß der weiche Isolationsfilm 405 auf der Al-Legierungsleitung existiert haben, aber es war unmöglich, die Existenz des weichen Isolationsfilmes 405 auf der Al-Legierungsleitung bei der Beobachtung mit einem Rasterelektronenmikroskop (SEM) zu erkennen. Da die Oberfläche des Isolationsfilmes 405 mit einem SiO₂-Film bedeckt war, der durch ein übliches Plasma-CVD-Verfahren gebildet war, konnten die anschließenden Schritte durchgeführt werden, ohne daß sie im wesentlichen durch das Vorhandensein des Isolationsfilmes 405 behindert waren.

Obwohl eine Kombination von TMS und Sauerstoff bei diesem Beispiel erläutert wird, können nahezu die gleichen Wirkungen durch Verwendung von anderen Arten eines organischen Silans anstelle von TMS erzielt werden. Beispiele eines solchen organischen Silans sind Alkoxysilane wie Tetraethylsilan (Si(C₂H₅)₄), Tetraethoxysilan (Si(OC₂H₅)₄), Tetramethoxydisiloxan (Si₂O(CH₃)₆) und Tetraisopropoxydisiloxan (Si₂(i-C₃H₇)₆). Es ist ebenfalls möglich, Xylol, Phenyltrimethylsilan und Diphenyltrimethylsilan zu verwenden, wobei nahezu die gleichen Wirkungen erhalten werden.

Es ist ebenfalls möglich, eine Verbindung, umfassend

ein Sauerstoffatom als Bestandteils-Komponente anstelle von O_2 zu verwenden. Beispiele einer solchen Verbindung umfassen Ozon, CO , CO_2 , NO , N_2O , NO_2 , H_2O und H_2O_2 , wodurch nahezu die gleichen Wirkungen erzielt werden.

(Beispiel 4)

Die Fig. 7A bis 7C zeigen jeweils einen Querschnitt, wobei ein Schritt der Herstellung einer Halbleiter-Herstellungsvorrichtung entsprechend einem vierten Beispiel dieser Erfindung erläutert wird.

Wie in Fig. 7A gezeigt ist, wird ein thermischer Siliciumdioxid-Film 502 mit einer Dicke von 1 μm auf dem Silicium-Substrat 501 gebildet, und dann wird ein Al-Legierungsfilm, der als Al-Legierungsleitung 503 fungiert, mit einer Dicke von 0,9 μm mit Hilfe des üblichen Bedampfungsverfahrens niedergeschlagen. Daraufhin wird aus dem resultierenden Al-Legierungsfilm durch Anwendung des üblichen Belichtungsverfahrens und eines reaktiven Ionen-Ätzens ein Muster gebildet, wodurch ein gewünschtes Muster aus einer Al-Legierungsleitung 503 gebildet wird.

In Fig. 7A bedeutet Bezugszeichen 504 eine Rille zwischen den Leitungen. Die Al-Legierungsleitung 503 ist über ein Kontaktloch (nicht gezeigt), das in dem thermischen Siliciumdioxid-Film 502 gebildet ist, mit einem Element (nicht gezeigt) verbunden, das auf dem Silicium-Substrat 501 gebildet ist.

Anschließend wird das Silicium-Substrat 501 auf gleiche Weise wie in dem dritten Beispiel erläutert behandelt, unter Bildung eines Isolationsfilmes 505, wie in Fig. 7B gezeigt ist. Die Filmbildungsbedingungen, die bei diesem Fall angewandt wurden, sind: 20 cm^3/min Flußrate TMS, 100 cm^3/min Flußrate Sauerstoffgas, 0,2 Torr Niederschlagsdruck, 500 Watt Mikrowellenleistung, Temperatur des Substrates: Raumtemperatur. Diese Filmbildungsbedingungen sind lediglich ein Beispiel, und daher sollte diese Erfindung nicht durch diese Bedingungen beschränkt sein.

Wenn diese Bedingungen derart eingestellt werden, daß Sauerstoffradikale leicht erzeugt werden, kann ein Film mit einer konformen Form, wie in Fig. 7B gezeigt ist, leicht erhalten werden. Bedingungen, die die leichte Erzeugung von Sauerstoffradikalen ermöglichen, sind, wenn die Flußrate von Sauerstoff verhältnismäßig größer ist als die Flußrate von TMS; wenn die Mikrowellenenergie verhältnismäßig groß ist; oder wenn die Temperatur des Substrates so eng wie möglich bei Raumtemperatur liegt.

Wenn die unter diesen Bedingungen gebildete Probe durch ein Raster-Elektronenmikroskop (SEM) beobachtet wurde, wurde festgestellt, daß die Dicke des Isolationsfilmes 505, der auf dem Boden der Rille 504 gebildet war, nahezu gleich war wie die Dicke, die auf der Leitung 503 gebildet ist, wie in Fig. 7B gezeigt ist.

Das Hauptmerkmal dieses Beispiels liegt nicht nur darin, daß die Filmdicke des Isolationsfilmes 505, der auf dem Boden der Rille 504 gebildet ist, nahezu gleich war wie die Dicke des Isolationsfilmes 505, der auf der Al-Legierungsleitung 503 gebildet ist, sondern ebenfalls darin, daß ein bestimmtes Ausmaß des Isolationsfilmes 505 (0,1 bis 0,5 μm Filmdicke) ebenfalls auf der Al-Legierungsleitung 503 gebildet war. Wenn die Zwischenleitungskapazität in lateraler Richtung erniedrigt werden soll, sollte der Abstand zwischen den Leitungen mit dem Isolationsfilm 505 soweit wie möglich verborgen werden.

Nach Herausnahme des Substrates 501 aus dem Vakuumbehälter wird ein SiO_2 -Film 506 über dem gesamten Isolationsfilm 505 bis zu einer Dicke von etwa 0,5 bis 1,0 μm durch das übliche Plasma-CVD-Verfahren niedergeschlagen. Es kann für die Verbesserung der verborgenen Form der Rille 504 wirksam sein, einen 0,2 bis 0,6 μm dicken Isolationsfilm zuvor unter Verwendung eines organischen Silans und O_3 niederzuschlagen und dann einen SiO_2 -Film 506 auf dem Isolationsfilm durch ein Plasma-CVD-Verfahren niederschlagen.

Dann wird eine obere Al-Legierungsleitung durch das übliche Verfahren gebildet. Denn nach Bildung eines Kontaktloches zum Bilden eines Kontaktes mit der Al-Legierungsleitung 503 in dem SiO_2 -Film 506 wird ein Al-Legierungsfilm mit einer Dicke 0,4 bis 1,0 μm zur Bildung der oberen Al-Legierungsleitung gebildet. Danach wird aus dem Al-Legierungsfilm unter Anwendung sowohl eines üblichen Belichtungsverfahrens als auch eines reaktiven Ionen-Ätzungsverfahrens ein Muster gebildet, unter Bildung der oberen Al-Legierungsleitung.

Nachdem ein SiO_2 -Film mit einer Dicke von 0,5 bis 1,0 μm durch ein Plasma-CVD-Verfahren gebildet ist, wird eine Anschlußfläche gebildet.

Die Halbleitervorrichtung (Probe), die auf diese Weise erhalten wurde, wurde zum Untersuchen der elektrischen Zuverlässigkeit davon getestet. Als Ergebnis wurde festgestellt, daß der Prozentsatz, der aufgrund der Spannungsmigration mit Mängeln behaftet war, um einen zweistelligen Wert im Vergleich zu der konventionellen Halbleitervorrichtung vermindert war.

Dieses Ergebnis kann der Tatsache zugeschrieben werden, daß, da der Isolationsfilm 505, der die Al-Legierungsleitung 503 kontaktiert, ein viskoser Isolationsfilm ist, selbst wenn der SiO_2 -Film 506, der durch ein Plasma-CVD-Verfahren auf dem Isolationsfilm 505 gebildet ist, mit der üblichen thermischen Spannung versehen ist, irgendeine thermische Spannung, die auf die Al-Legierungsleitung 503 auferlegt werden kann, durch den viskosen Isolationsfilm 505 abgemildert wird.

Dieses Beispiel ist dadurch gekennzeichnet, daß der Isolationsfilm 505 mit einer Dicke von etwa 0,1 bis 0,5 μm ebenfalls auf der oberen Fläche der Al-Legierungsleitung 503 gebildet wurde. Denn die obere Fläche ebenso wie die Seitenwände der Al-Legierungsleitung 503 waren vollständig von dem weichen Isolationsfilm 505 eingefüllt.

Es wird vermutet, daß, weil die Halbleitervorrichtung derart aufgebaut ist, es möglich ist, irgendwelche thermische Spannungen von dem SiO_2 -Film 506, der durch ein Plasma-CVD-Verfahren auf dem Isolationsfilm 505 gebildet ist, zu mildern, wodurch die Erzeugung einer Spannungsmigration unterdrückt wird.

Die Tatsache, daß der Zwischenschicht-Isolationsfilm nicht vollständig durch den Isolationsfilm 505 gebildet ist, ist ebenfalls eines der Merkmale dieser Erfindung. Die Erzeugung nicht nur der Spannungsmigration sondern ebenfalls der Elektromigration, wenn die Stromspannung erhöht wird, ist ebenfalls einer der Faktoren, der eine Verschlechterung der elektrischen Zuverlässigkeit der Al-Legierungsleitung induziert.

Als Gegenmaßnahme für das Unterdrücken der Erzeugung von Spannungsmigration wurde ein Verfahren unter Erzeugung einer Sperrschicht, die aus TiN besteht, auf der oberen und unteren Seite der Al-Legierungsleitung angewandt. Entsprechend dieser Struktur wandern, wenn eine große Spannung auf die Al-Legierungsleitung aufgedrückt wird, die Al-Atome in der Al-

Legierungsleitung in die Richtung, in die die Spannung aufgedrückt wird. Die Al-Atome, die zur Abwärtsseite gewandert sind, werden ein überflüssiges Atom für die Al-Legierungsleitung der Abwärtsseite. Da die obere und untere Fläche der Al-Legierungsleitung durch eine harte TiN-Sperrschicht bedeckt sind, werden die auf diese Weise gewanderten Al-Atome entlang einem schwachen Bereich des Isolationsfilmes in der Nähe der beiden Seiten der Al-Legierungsleitung akkumuliert (ein laterer kleiner Hügel). Wenn dieser laterale kleine Hügel als Ergebnis des Wachstums davon groß wird, kann er mit der benachbarten Al-Legierungsleitung kontaktiert werden, wodurch ein elektrischer Kurzschluß verursacht wird.

Wenn der Abstand, der zwischen den Al-Legierungsleitungen vorgesehen ist, vollständig mit dem weichen Isolationsfilm 505 gefüllt ist, kann der Widerstand gegen diesen kleinen lateralen Hügel schwach werden. Jedoch wurde bestätigt, daß dann, wenn der weiche Isolationsfilm 505 nur an einem begrenzten Bereich, der die Al-Legierungsleitung kontaktiert, niedergeschlagen ist, und der Rest des Raumes zwischen den Al-Legierungsleitungen mit dem konventionellen SiO₂-Film 506, wie bei diesem Beispiel, gefüllt wird, der Widerstand gegenüber diesem lateralen kleinen Hügel nicht beeinträchtigt wird.

(Beispiel 5)

Fig. 8 zeigt einen Querschnitt, der eine Halbleitervorrichtung entsprechend einem fünften Beispiel dieser Erfindung erläutert.

In Fig. 8 bedeutet Bezugsziffer 701 ein Silicium-Substrat, das ein isoliertes Element trägt. Ein Siliciumdioxid-Film 702 wird auf der oberen Fläche des Silicium-Substrates 701 gebildet. Auf diesem Siliciumdioxid-Film 702 wird ein gewünschtes Muster aus Leitungen, d. h. Leitungen 703a, 703b und 703c niedergeschlagen. Diese Leitungen 703a, 703b und 703c werden elektrisch mit Elementen (nicht gezeigt), die auf der oberen Fläche des Substrates gebildet sind, durch Kontaktlöcher (nicht gezeigt), die in dem Siliciumdioxid-Film 702 gebildet sind, elektrischen verbunden.

Diese Leitungen 703a, 703b und 703c werden durch einen Isolationsfilm 704 bedeckt, der entsprechend dieser Erfindung gebildet ist. Eine Leitungsschicht 705 wird auf dem Isolationsfilm 704 gebildet und mit der Leitung 703b durch ein Durchgangsloch 706, das in dem Isolationsfilm 704 gebildet ist, verbunden. Das Material, das diese Leitungen 703a, 703b und 703c ausmacht, kann z. B. eine Al-1%, Si-0,5%, Cu-Legierung sein.

Fig. 9 zeigt eine schematische Ansicht einer Halbleiter-Herstellungsvorrichtung, die bei diesem Beispiel verwendet wurde. Die Halbleiter-Herstellungsvorrichtung ist für die Bildung des Isolationsfilmes 704 durch ein Kondensations-CVD-Verfahren geeignet.

Unter Bezugnahme auf Fig. 9 bezeichnet Bezugsziffer 601 einen Vakuumbehälter, an den eine Auslaßanlage (nicht gezeigt) über eine Auslaßöffnung 602 verbunden ist, um so zu ermöglichen, daß das Innere des Vakuumbehälters 601 auf ein hohes Vakuum eingestellt wird. Denn das Endvakuum dieses Vakuumbehälters 601 ist 2×10^{-7} Torr oder mehr. Die Auslaßanlage ist in Fig. 9 zur Vereinfachung der Erläuterung nicht gezeigt.

Ein Substrat-Befestigungstisch 603 zum Tragen eines Substrates ist im Inneren des Vakuumbehälters 601 angeordnet, und ein Silicium-Substrat 604 ist auf dem Substrat-Befestigungstisch 603 vorgesehen.

Der Vakuumbehälter 601 ist mit verschiedenen Rohren zum Zuführen von verschiedenen Gasen in den Vakuumbehälter 601 verbunden. Denn ein Rohr 605 zum Zuführen von verschiedenen Arten von Verfahrensgasen wie Sauerstoffgas, Wasserstoffgas, Kohlenmonoxidgas oder Stickstoffgas und ein Reinigungsgas; ein Rohr 615 zum Zuführen eines organischen Silans wie TMS; und ein Rohr 630 zum Zuführen von Stickstoffgas sind mit dem Vakuumbehälter 601 verbunden. Das Rohr 605 ist z. B. aus rostfreiem Stahl hergestellt.

Das Rohr 605 zum Zuführen von verschiedenen Arten von Verfahrensgasen (der Einfachheit halber ist eine Gaszufuhrquelle von Fig. 9 weggelassen) ist über Ventile 606a bis 606i mit einem Massenflußsteuergerät 607a bis 607i verbunden, wie von oben bis unten in Fig. 9 gezeigt ist. Der distale Endbereich des Sauerstoff-Zuführrohres 605 ist mit einem Al₂O₃-Rohr 611 verbunden.

Das Rohr 605 ist mit einem Ventil 608 ebenso wie mit einer Verbindung 609 versehen und mit einem Saphirrohr 611 verbunden, das über eine Verbindung 612 mit dem Vakuumbehälter 601 verbunden ist. Das Rohr 605 ist ebenfalls über Ventile 651 und 652 mit einem Ozonisator 653 verbunden. Wenn Ozon verwendet werden soll, wird das Ventil 608 geschlossen, und ein Ausgangsmaterialgas wird über das Ventil 652 zu dem Ozonisator 653 geführt. Das ozonhaltige Gas wird über das Ventil 652 zu dem Ventil 605 zurückgeführt. Als Ausgangsmaterialgas, das zu dem Ozonisator 653 geführt werden soll, kann Sauerstoffgas, ein gemischtes Gas, umfassend Sauerstoffgas und Stickstoffgas, oder ein gemischtes Gas, umfassend Sauerstoffgas und Kohlendioxidgas bevorzugt verwendet werden.

Das Saphirrohr 611 ist bevorzugt an einem mittleren Bereich davon mit einer Entladungselektrode 610 zum Erzeugen eines Plasmas durch Mikrowellenentladung (der Einfachheit halber sind eine Mikrowellenquelle und ein Mikrowellenzuführsystem in Fig. 9 weggelassen) vorgesehen. Eine Lichtquelle 654 zum Anregen eines Gases, das durch das Rohr geleitet wird, kann in der Nähe des Saphirrohres 611 befestigt sein. Für die Anregung von Licht, das in diesem Fall verwendet wird, können Ultraviolettstrahlen zum Induzieren des durchgeleiteten Gases, das in einen Elektronenzustand angeregt werden soll, bevorzugt sein.

Das Rohr 615 zum Zuführen von TMS (der Einfachheit halber ist eine TMS-Zufuhrquelle in Fig. 9 weggelassen) ist über ein Stoppventil 616, ein Massenflußkontrollgerät 617, ein Stoppventil 618 und ein Rohr 619 aus rostfreiem Stahl mit dem Vakuumbehälter 601 verbunden. Ein Nadelventil, das eine Flußrate genau steuern kann, kann anstelle des Massenflußsteuergerätes 617 verwendet werden.

Das durch das Rohr 630 zu führende Stickstoffgas (der Einfachheit halber wird eine Stickstoffgas-Zufuhrquelle aus Fig. 9 weggelassen) wird zum Einstellen des Druckes innerhalb des Vakuumbehälters 601, d. h. zum Wiedereinstellen des Innendruckes des Vakuumbehälters 601 auf atmosphärischen Druck, wenn das Substrat 604 in dem Vakuumbehälter 601 angeordnet oder daraus herausgenommen wird oder zum Verkürzen der Zeit, die zum Wiedereinstellen der gekühlten Temperatur des Silicium-Substrates 604 auf Raumtemperatur erforderlich ist, verwendet. Dieses Stickstoffgas kann zum Einstellen des Innendruckes des Vakuumbehälters 601 beim Abscheiden eines Isolationsfilmes auf dem Substrat 604 verwendet werden. Das Rohr 630 wird über ein Ventil 631, ein Massenflußsteuergerät 632, ein Ventil 633 und ein Rohr 634 mit dem Vakuumbehälter 601

verbunden.

Der Substrat-Befestigungstisch 603 ist mit Kupferrohren 635a und 635b zum Kühlen des Substrat-Befestigungstisches 603 versehen (das Kupferrohr 635a bedeutet ein Rohr, das an der Gaseinflußseite angeordnet ist, während das Kupferrohr 635b ein Rohr bedeutet, das an der Gasausflußseite angeordnet ist), wobei diese Kupferrohre 635a und 635b in dem Substrat-Befestigungstisch 603 verborgen sind. Diese Kupferrohre 635a und 635b sind mit einem Stickstoff-Zuführsystem zum Zuführen eines gekühlten Stickstoffgases oder eines Stickstoffgases mit Raumtemperatur verbunden (der Einfachheit halber sind die Stickstoffgas-Kühlanlage und Stickstoffgas-Zuführanlage in Fig. 9 nicht gezeigt).

Der Substrat-Befestigungstisch 603 ist ebenfalls mit einem Gehäuseerwärmer 636 versehen, der als Erwärmungsquelle zum Erwärmen des Silicium-Substrates 604 auf eine gewünschte Temperatur fungiert (die Energiequelle für diesen Gehäuseerwärmer 634 ist in Fig. 9 nicht gezeigt).

Die Wand des Vakuumbehälters 601 ist aus einer Zwischschichtstruktur gebildet und mit einer Erwärmungsquelle 641 und einem Wärmeisolationmaterial 642 zum Erwärmen der Wand des Vakuumbehälters 601 ausgerüstet, um so eine gleichmäßige Gastemperaturverteilung in dem Innenraum des Vakuumbehälters 601 zu halten (der Einfachheit halber ist die Energiequelle für diese Erwärmungsquelle 641 nicht in Fig. 9 gezeigt).

Eine Lichtquelle 655, die zum Erhöhen der Viskosität des Bereiches in der Nähe der Oberfläche des Isolationsfilmes verwendet wird, und eine Mikrowellen-Erzeugungsenergiequelle 656 sind in dem Vakuumbehälter 601 befestigt. Als Lichtquelle 655 kann irgendeine von einer Infrarotquelle mit einer Wellenlänge von 2,6 bis 3,3 μm , einer Ultraviolett-Lichtquelle 142 mit einer Wellenlänge von 308 nm oder einer Lichtquelle für das schnelle Erhöhen der Temperatur eines Substrates effektiv verwendet werden. Diese Lichtquelle 655 und Mikrowellenerzeugungsenergiequelle 656 können alleine oder in irgendeiner Kombination, einschließlich einer Vielzahl von diesen verwendet werden.

Als nächstes wird ein Verfahren zur Bildung eines Isolationsfilmes entsprechend dieser Erfindung unter Bezugnahme auf die Fig. 9 und 10A bis 10C erläutert, wobei das Verfahren dem tatsächlichen Vorgang nachgebildet ist.

Zunächst wurde das Innere des Vakuumbehälters 601 wieder auf atmosphärischen Druck eingestellt, und ein Substrat 604 wurde auf einem Substrat-Befestigungstisch 603 befestigt. In diesem Fall kann eine evakuierte Ersatzkammer neben dem Vakuumbehälter 601 über ein Gate-Ventil vorgesehen sein, um so zu ermöglichen, daß das Silicium-Substrat 604 automatisch zu dem Vakuumbehälter 601 transferiert wird, indem ein Roboterarm verwendet wird. Das in diesem Fall verwendete Substrat 604 war ein Silicium-Substrat, dessen obere Oberfläche mit einem Siliciumdioxidfilm 702 versehen war, auf dem Leitungen 703a, 703b und 703c mit einem gewünschten Muster weiterhin gebildet waren, wie in Fig. 10A gezeigt ist.

Dann wurde das Innere des Vakuumbehälters 601 über die Auslaßöffnung 602 auf ein Endvakuum, das ein Vakuum von wenigstens 1×10^{-7} Torr in diesem Fall sein sollte, eingestellt. Dann konnte ein gekühltes Stickstoffgas durch eine Passage zwischen dem Kupferrohr 635a und dem Kupferrohr 635b fließen, wodurch der Substrat-Befestigungstisch 603 auf eine bestimmte Temperatur von etwa -100 bis -25°C gekühlt wurde.

Wenn der Substrat-Befestigungstisch 603 auf den oben erwähnten Bereich herabgeköhlt war, war die Temperatur des Silicium-Substrates 604 (Substrat-Temperatur) -80 bis -25°C . Nach der Bestätigung der Stabilisierung der Substrat-Temperatur bei einer gewünschten Temperatur wurde das Massenflußsteuergerät 617 für TMS auf 1 bis $100 \text{ cm}^3/\text{min}$ eingestellt, und die Stoppventile 616 und 618 wurden geöffnet, zum Einführen von TMS in den Vakuumbehälter 601.

Danach wurde das Massenflußsteuergerät 607g für das Sauerstoffgas auf 1 bis $1000 \text{ cm}^3/\text{min}$ eingestellt und die Stoppventile 606g und 608 wurden geöffnet, zum Einführen von Sauerstoffgas in den Vakuumbehälter 601.

In diesem Fall kann der Druck in dem Vakuumbehälter 601 auf etwa 10 mTorr bis 500 Torr durch Wechseln der Konduktanz der Auslaßöffnung 602 eingestellt werden, wobei der Partialdruck 2 bis 200 Torr für TMS und 2 bis 400 Torr für Sauerstoffgas ist.

Nach der Stabilisierung der Flußrate des Sauerstoffgases wurde eine Mikrowelle mit etwa 100 Watt bis 5 kWatt aufgedrückt, um dadurch die Mikrowellenentladung von Sauerstoffgas zu induzieren. Als Ergebnis wurde ein Isolationsfilm 704, bestehend aus einem Reaktionsprodukt zwischen dem Sauerstoffplasma und TMS, auf dem Silicium-Substrat 701 derart niedergeschlagen, daß die Leitungen 703a bis 703c bedeckt wurden, wie in Fig. 10B gezeigt ist.

Die Beendigung des oben erwähnten Niederschlages wurde durch die folgende Vorgehensweise durchgeführt.

Zunächst wurde der Ausstoß der Mikrowellenenergie abgeschaltet, um die Mikrowellenentladung zu stoppen. Dann wurden die Stoppventile 616 und 618 geschlossen, zum Stoppen der Zufuhr von TMS, und danach wurden die Ventile 606g und 608 geschlossen, zum Stoppen der Zufuhr von Sauerstoffgas. Dann wurde die Zufuhr des kühlenden Stickstoffgases gestoppt, das von dem Rohr 635a zu dem Rohr 635b floß, und ein Stickstoffgas mit Raumtemperatur konnte statt dessen dadurch fließen.

In diesem Fall wurde das Massenflußsteuergerät 632 für Stickstoffgas auf 1 bis $10 \text{ l}/\text{min}$ eingestellt, und die Ventile 631 und 632 wurden geöffnet, zum Einführen von Stickstoffgas von dem Rohr 634 in den Vakuumbehälter 601, um so das Innere des Vakuumbehälters 601 auf einen Druck in der Nähe von atmosphärischen Druck wieder einzustellen, und gleichzeitig wurde die Temperatur des Silicium-Substrates 604 erneut auf Raumtemperatur angehoben.

Schließlich wurde das Innere des Vakuumbehälters 601 auf atmosphärischen Druck eingestellt, und das Silicium-Substrat 604 wurde aus dem Vakuumbehälter 601 herausgenommen. Falls gewünscht, kann das nächste Silicium-Substrat zu diesem Zeitpunkt auf dem Substrat-Befestigungstisch 603 befestigt werden. Eine Folge der Vorgehensweise für die Bildung eines Zwischenschicht-Isolationsfilmes wurde auf diese Weise vollendet.

Typische Verfahrensbedingungen bei der Bildung des oben erwähnten Isolationsfilmes 704 sind: $20 \text{ cm}^3/\text{min}$ Flußrate TMS, $200 \text{ cm}^3/\text{min}$ Flußrate Sauerstoffgas, 0,2 Torr Niederschlagsdruck, 200 Watt Mikrowellenleistung und -30°C Substrat-Temperatur. Bei diesen Filmbildungsbedingungen ist die Niederschlagsrate des Isolationsfilmes 704 etwa $0,5 \mu\text{m}/\text{min}$.

Bei diesem Beispiel wurde die Entladungszeit auf 40 min eingestellt, und die Filmdicke des erhaltenen Isolationsfilmes 704 war 2 μm . Die Viskosität dieses Isola-

tionsfilmes 704 war weniger als 10 000 cp und der Isolationsfilm 704 war so weich, daß er mit einer Pinzette leicht perforiert werden konnte.

Wie in Fig. 10C gezeigt ist, wurde anschließend ein Durchgangsloch 706 in dem Isolationsfilm 704 derart geöffnet, daß er mit der Leitung 703b in Verbindung stand. Dann wurden die folgenden Vorgehensweisen durchgeführt, um z. B. die Viskosität eines Bereiches in der Nähe der Oberfläche des Isolationsfilmes 704 selektiv zu erhöhen.

Das Substrat 701 wurde erneut in dem Vakuumbehälter 601 angeordnet, der in Fig. 9 gezeigt ist. Dann wurde die Flußrate an Wasserstoffgas auf 150 cm³/min durch das Massenflußsteuergerät 607f eingestellt. Danach wurde das Ventil 606f geöffnet, eine Hochfrequenzwelle mit 200 W wurde auf die Entladungselektrode 610 aufgedrückt, ein Wasserstoffgasplasma wurde über das Saphirrohr 611 in den Vakuumbehälter 601 eingeführt, und das Substrat 701 wurde mit einem Erwärmer 636 bis auf eine Temperatur von 300°C z. B. erwärmt. Auf diese Weise wurde das Substrat 701 in dieser Wasserstoffgas-Plasmaatmosphäre z. B. 10 min lang gehalten. Der Innendruck im Inneren des Vakuumbehälters 601 war z. B. 1 Torr.

Dann wurde Stickstoffgas in das Kupferrohr 635a zu dem Kupferrohr 635b eingeführt, und gleichzeitig wurde Stickstoffgas von dem Rohr 634 in den Vakuumbehälter 601 auf gleiche Weise wie oben erläutert, eingeführt. Als sich die Temperatur des Substrates ungefähr auf Raumtemperatur erhöht hatte, wurde das Substrat 701 aus dem Vakuumbehälter 601 herausgenommen.

Der Isolationsfilm 704, dessen Oberflächenschicht der oben erwähnten Behandlung zur Erhöhung der Viskosität davon unterworfen wurde, wurde so hart, daß er durch eine Pinzette nicht leicht durchlöchert werden konnte, was eine Viskosität von 10 000 cp oder mehr anzeigt.

Schließlich wurde die Leitung 703b, die an dem Boden des Durchgangsloches 706 vorgesehen war, mit Hilfe einer geeigneten Waschbehandlung gereinigt, und dann wurde eine metallische Leitung, aus der eine Leitung 705 gebildet werden sollte, auf dem Isolationsfilm 704 durch ein Magnetron-Bedampfungsverfahren niedergeschlagen. Anschließend wurde die metallische Schicht durch Anwendung eines Belichtungsverfahrens und eines reaktiven Ionen-Ätzungsverfahrens bearbeitet, zur Bildung der Leitung 705, die mit der Leitung 703b elektrisch verbunden war, unter Erhalt einer Halbleitervorrichtung, die in Fig. 8 gezeigt ist.

Der Bereich der Halbleitervorrichtung, die entsprechend diesem Beispiel erhalten ist, und ebenfalls der Bereich der Halbleitervorrichtung, die entsprechend dem konventionellen Verfahren gebildet ist, d. h. die Oberflächenschicht des Isolationsfilmes davon war nicht der oben erwähnten Viskositätsbehandlung unterworfen, wurden unter Verwendung eines Raster-Elektronenmikroskopes (SEM) untersucht.

Als Ergebnis wurde festgestellt, daß die Querschnittsform des Isolationsfilmes 704 der Halbleitervorrichtung entsprechend diesem Beispiel in jeglicher Hinsicht, einschließlich der oberen Fläche und der Seitenwand des Durchgangsloches 706 ausgezeichnet war. Weiterhin wurde eine scharfe Grenzfläche, die eine Änderung der Viskosität anzeigt, an einem inneren Bereich des Isolationsfilmes 704 beobachtet, die etwa 0,1 µm von der Oberfläche des Isolationsfilmes 704 nach innen und etwa 0,05 µm von der Seitenwand des Durchgangsloches 706 nach innen lokalisiert war. Die Rille zwischen den

Leitungen, ebenso wie die Stufenbereiche der Leitungen waren vollständig mit dem Isolationsfilm 704 ohne Erzeugung von irgendwelchen Löchern darin bedeckt.

Im Gegensatz dazu wurden feine Irregularitäten an der oberen Fläche des Isolationsfilmes 704 und an der Seitenwand des Durchgangsloches 706 der Halbleitervorrichtung, die entsprechend dem konventionellen Verfahren hergestellt war, aufgrund der Tatsache gefunden, daß die oben erwähnte Viskositätsbehandlung bei dem Isolationsfilm 704 ebenso wie an der Seitenwand des Durchgangsloches 706 nicht durchgeführt wurde, obwohl die Rille zwischen den Leitungen ebenso wie die Stufenbereiche der Leitungen vollständig mit dem Isolationsfilm 704 bedeckt waren. Da die Viskosität des Isolationsfilmes 704 selbst gering war, wurde festgestellt, daß die Form des Durchgangsloches 706 auch deformiert war.

Wenn ein Test bezüglich der elektrischen Eigenschaften mit der Halbleitervorrichtung dieser Erfindung ebenso wie mit der konventionellen Halbleitervorrichtung durchgeführt wurde, wurde festgestellt, daß die Lebensdauer der Leitung der Halbleitervorrichtung dieser Erfindung um etwa 10% länger war als die der konventionellen Halbleitervorrichtung.

Die Gründe für diese Differenz der Lebensdauer der Leitungen kann wie folgt erläutert werden. Die Gründe die verkürzte Lebensdauer der Leitung der konventionellen Halbleitervorrichtung kann der Verschlechterung verschiedener Aspekte zugeschrieben werden, die durch das bei dem Bedampfungsverfahren verwendete Plasma wie das Magnetron-Bedampfungsverfahren verursacht wird; z. B. eine Verschlechterung, die der Erzeugung eines Verluststromes zugeschrieben werden kann, der von der Irregularität der Oberfläche des Isolationsfilmes 704 oder von der Abspaltung der Bindung der molekularen Struktur resultiert, die den Isolationsfilm 704 ausmacht oder eine Verschlechterung, die den mit Mängeln behafteten Kontakt der Leitung zugeschrieben werden kann, der von der Deformation der Durchgangslocher resultiert. Dagegen wird bei diesem Beispiel angenommen, daß diese Phänomene durch die Viskositätsbehandlung, die an der Oberfläche des Isolationsfilmes 704 durchgeführt wird, unterdrückt werden. Es wird erwartet, daß die Verbesserung der Zuverlässigkeit der Leitung durch die strukturelle Verbesserung eines Isolationsfilmes, wie oben beschrieben, zunehmend deutlich werden kann, wenn die Miniaturisierung des Halbleiterelementes weiter fortschreitet.

Für den Vergleich der Qualität des Isolationsfilmes, erhalten gemäß dieser Erfindung, mit der Qualität des konventionellen Isolationsfilmes wurden diese Isolationsfilme auf einer flachen Oberfläche eines Silicium-Substrates gebildet.

Als Probe für den konventionellen Isolationsfilm wurde ein Isolationsfilm entsprechend dem konventionellen Kondensations-CVD-Verfahren (Viskosität weniger als 10 000 cp) gebildet. Auf der anderen Seite wurde als Probe für den Isolationsfilm entsprechend diesem Beispiel ein Isolationsfilm entsprechend dem konventionellen Kondensations-CVD-Verfahren gebildet, und dann wurde die oben erwähnte Viskositätsbehandlung mit dem Isolationsfilm für eine lange Zeit durchgeführt, um dadurch die Viskosität des größten Teils des Isolationsfilmes zu erhöhen (Viskosität mehr als 10 000 cp).

Dann wurden diese Isolationsfilme durch eine Fourier-Transform-Infrarot-Analyse vom Permeationstyp, eine Atom-Zusammensetzungsanalyse, bestehend aus

einer Kombination aus einem chemischen Naßverfahren und einer Atom-Absorptionsanalyse oder Massenspektroskopie, und einen Hygroskopizitätstest untersucht. Als Ergebnis wurde festgestellt, daß diese Isolationsfilme die gleiche Qualität aufwiesen, soweit die ermittelbare Genauigkeit dieser Analysen betroffen ist.

Denn die Haupt-Peaks, die bei der Infrarotspektroskopieanalyse beobachtet werden konnten, waren ein Si-O-Si-Streck-Vibrations-Peak und ein Si-CH₃-Streck-Vibrations-Peak. Das Intensitätsverhältnis des Si-CH₃-Vibrations-Peaks zu dem Si-O-Si-Peak war in allen Isolationsfilmen 10 bis 50%. Wenn das Endvakuum des Vakuumbehälters 201 niedrig war, wurde der H₂O-Absorptions-Peak in keinem dieser Isolationsfilme beobachtet, was anzeigt, daß das Endvakuum des Vakuumbehälters 201 möglichst hoch eingestellt werden sollte.

Wenn alle Isolationsfilme, die auf dem Silicium-Substrat niedergeschlagen waren, mit Hilfe eines chemischen Naßverfahrens aufgelöst waren und die resultierende Lösung durch eine Atom-Absorptionsanalyse und eine Massenspektrometrie untersucht wurde, wurde festgestellt, daß das Zusammensetzungsverhältnis zwischen dem Kohlenstoff (C) und Silicium (Si) 1,1 : 1 bis 20 : 1 in allen dieser Isolationsfilme war, was einen höheren Kohlenstoff-Gehalt im Vergleich zu Silicium bei all diesen Isolationsfilmen anzeigt.

Im Hinblick auf die Auswertung der Hygroskopizität dieser Isolationsfilme, selbst wenn diese Isolationsfilme zwei Tage lang einer Luftatmosphäre ausgesetzt waren, wurde bei allen dieser Isolationsfilme nahezu keine Wasserabsorption festgestellt. Wenn diese Isolationsfilme im Vakuum auf bis 650°C erwärmt wurden und die Gase, die davon freigesetzt wurden, unter Verwendung eines Massenspektrometers gemessen wurden, um die thermische Stabilität dieser Isolationsfilme zu untersuchen, wurde eine kleine Menge an H₂O bei einer Temperatur von 300°C festgestellt, und in einem Temperaturbereich von 300 bis 650°C wurden nur Peaks ermittelt, die C und H beinhalteten, d. h. ein Peak aus H₂O wurde in diesem Temperaturbereich überhaupt nicht ermittelt.

Aus diesen Ergebnissen ist ersichtlich, daß selbst wenn die oben erwähnte Viskositätserhöhungsbehandlung zur Erhöhung nur der Oberflächenschicht eines Isolationsfilmes an dem Isolationsfilm, der mit Hilfe eine Kondensations-CVD-Verfahrens niedergeschlagen ist, durchgeführt wird, die Qualität des Isolationsfilmes insgesamt nicht wesentlich verändert wird.

Daher werden die ausgezeichneten Qualitäten, die einem Isolationsfilm inhärent sind, der durch das konventionelle CVD-Verfahren gebildet ist, d. h. eine niedrige Dielektrizitätskonstante und eine niedrige Hygroskopizität der Isolationsfilmes nicht verschlechtert, selbst wenn die Viskosität der Oberflächenschicht des Filmes erhöht wird. Im Gegensatz dazu kann gesagt werden, daß dann, wenn die oben erwähnte Viskositätserhöhungsbehandlung an dem Isolationsfilm durchgeführt wird, die Bindung zwischen den Molekülen an der Oberflächenschicht des Filmes verstärkt werden, so daß die Dielektrizitätskonstante und Hygroskopizität des Isolationsfilmes weiterhin erniedrigt werden können.

Die Tatsache, daß nur die Oberflächenschicht des Isolationsfilmes eine hohe Viskosität aufweist und der Innenbereich des Isolationsfilmes bei einer niedrigen Viskosität gehalten wird, ist als Charakteristikum für einen Isolationsfilm zwischen Leitungsschichten (d. h. einen Zwischenschicht-Isolationsfilm) sehr bevorzugt. Denn wenn die Viskosität der Oberflächenschicht des Isola-

tionsfilmes hoch ist, werden die Lokalisierung ebenso wie die Form eines Durchgangsloches, das in dem Isolationsfilm selektiv gebildet wird, stabilisiert. Weiterhin kann irgendeine Schädigung eines Isolationsfilmes durch ein Bedampfungsplasma bei der Bildung einer metallischen Leitungsschicht durch ein Magnetronbedampfen nach der Bildung des Isolationsfilmes effektiv vermieden werden, wenn die Viskosität der Oberflächenschicht des Isolationsfilmes hoch ist. Daher kann die Erzeugung einer Verlustspannung zwischen einem Paar Leitungen durch den Isolationsfilm effektiv verhindert werden.

Wenn auf der anderen Seite die Viskosität des Innenbereiches des Isolationsfilmes gering ist, gibt es keine Möglichkeit für den Isolationsfilm, der darunter liegenden Leitungsschicht eine Spannung zu geben, und gleichzeitig werden die Stufenbedeckungseigenschaft und die Oberflächenflachheit des Isolationsfilmes verbessert. Es ist in diesem Fall ebenfalls möglich, die Abschaltung der Leitung aufgrund einer Spannungsmigration zu verhindern.

Wie oben erläutert ist die oben erwähnte Viskositätserhöhungsbehandlung zur Erhöhung der Viskosität nur an der Oberflächenschicht des Isolationsfilmes, der durch ein Kondensations-CVD-Verfahren gebildet ist, ein sehr effektives Verfahren für Erhalt eines Isolationsfilmes, der eine niedrige Dielektrizitätskonstante, eine niedrige Hygroskopizität und eine ausgezeichnete Stufenbedeckungseigenschaft aufweist, und ist durch Plasma und dgl. schwer zu beeinträchtigen.

Dieses Beispiel kann auf verschiedene Weisen modifiziert werden, wie nachfolgend erläutert.

Z.B. kann die oben erwähnte Viskositätserhöhungsbehandlung zur Erhöhung der Viskosität nur an der Oberfläche des Isolationsfilmes 704 durchgeführt werden, unmittelbar bevor das Substrat 701 aus dem Vakuumbehälter 201 nach dem Niederschlagen des Isolationsfilmes 704 durch ein Kondensations-CVD-Verfahren herausgenommen wird. Wenn diese Viskositätserhöhungsbehandlung auf diese Weise durchgeführt wird, kann irgendeine Änderung der Lokalisierung und der Form des Durchgangsloches 706 aufgrund irgendeiner Deformation des Isolationsfilmes 704 während der Bildung des Durchgangsloches 706 in dem Isolationsfilm 704 effektiv verhindert werden.

Weiterhin sollte diese Viskositätserhöhungsbehandlung zur Erhöhung der Viskosität nur der Oberflächenschicht des Isolationsfilmes 704 nach dessen Abscheiden durch ein Kondensations-CVD-Verfahren bevorzugt aufeinanderfolgend durchgeführt werden, ohne den Vakuumzustand abubrechen. Der Grund liegt darin, daß dann, wenn der Isolationsfilm 704 einer Luftatmosphäre unmittelbar nach dessen Abscheiden ausgesetzt ist, die Oberfläche des Isolationsfilmes 704, der noch eine niedrige Viskosität hat, leicht feine Teilchen und Wasser adsorbieren kann, was möglicherweise einen negativen Einfluß auf die Qualität des Isolationsfilmes 704 ebenso der Leitung 706, die auf dem Isolationsfilm 704 gebildet werden soll, ausübt.

Weiterhin soll diese Viskositätserhöhungsbehandlung zum Erhöhen der Viskosität nur der Oberfläche des Isolationsfilmes 704 nach dem Niederschlag davon durch ein Kondensations-CVD-Verfahren bevorzugt in dem gleichen Vakuumbehälter durchgeführt werden, um die Deformation des Isolationsfilmes 704 während des Transfers davon zu vermeiden und irgendwelche Adsorption von Stäuben im Inneren der Anlage zu vermeiden.

Entsprechend diesem Beispiel wurde TMS mit Sauerstoffradikalen in einer Dampfphase reagiert, und das Reaktionsprodukt kondensierte auf einem Substrat, unter Bildung eines Isolationsfilmes (ein Kondensations-CVD). Es wird angenommen, daß dieses Reaktionsprodukt ein Polymerisationsreaktionsprodukt ist, das sich von einem organischen Silan und Sauerstoff-Radikalen ableitet. Daher ist es möglich, andere Arten von organischen Silan anstelle von TMS zu verwenden. Beispiele eines solchen organischen Silans sind Tetraethylsilan, Tetramethoxysilan, Tetraethoxysilan, Hexamethyldisiloxan und Tetraisopropoxysilan. Als Sauerstoff-Radikalerzeugungsquelle, die mit dem organischen Silan reagiert werden kann, ist es möglich, ein Sauerstoffatomhaltiges Gas anstelle von O_2 zu verwenden. Beispiele eines solchen Gases umfassen Ozon, CO , CO_2 , NO , N_2O , NO_2 , H_2O und H_2O_2 .

Um die Viskosität der Oberfläche des Isolationsfilmes 704, der mit Hilfe eines Kondensations-CVD-Verfahrens gebildet ist, zu erhöhen, wurde bei diesem Beispiel eine Sauerstoff-Radikalatmosphäre verwendet.

Es wird vermutet, daß diese Erhöhung der Viskosität durch die Reaktion von aktiven Anteilen in einem Polymerprodukt, das sich von einem organischen Silan und sauerstoffreichen Radikalen (z. B. $(Si(R_1R_2)-O-)_n$, worin R_1 und R_2 jeweils eine Seitenkette sind) ableitet, das den Isolationsfilm 704 ausmacht, wie einer Seitenkette, dem Si-Ende und O-Ende verursacht wird, d. h. eine Polymerisations- oder Vernetzungsreaktion wird unter den Molekülen, die den Isolationsfilm ausmachen, durch diese aktiven Bereiche induziert, wodurch die Struktur des Isolationsfilmes gestärkt wird.

Diese Verstärkung des Isolationsfilmes durch eine derartige Vernetzungsreaktion trägt ebenfalls zur Verbesserung der Erniedrigung der Dielektrizitätskonstante und Hygroskopizität des Isolationsfilmes bei, die für den Isolationsfilm vom technologischen Gesichtspunkt bei der Herstellung einer Halbleitervorrichtung erforderlich sind.

Im Hinblick auf den oben erwähnten Mechanismus kann es möglich sein, andere Arten von Ausgangsmaterialien anstelle der Sauerstoff-Radikale bei der oben erwähnten Viskositätssteigerungsbehandlung zu verwenden, um selektiv die Viskosität der Oberflächenschicht des Isolationsfilmes 704 zu erhöhen.

Als Mittel zum Induzieren einer Vernetzungsreaktion ist es möglich, die Viskosität der Oberflächenschicht des Isolationsfilmes 704, der durch ein Kondensations-CVD-Verfahren gebildet ist, zu erhöhen, ein Mittel anzuwenden, das in der Lage ist, einen aktiven Keim, der ein Sauerstoffatom enthält, zu der Oberflächenschicht des Isolationsfilmes 704 zu führen. Z.B. kann ein Plasma aus einer Gasatmosphäre, umfassend ein Molekül, das Sauerstoffatome einschließt, oder Ozon verwendet werden.

Beispiele eines Moleküls, das Sauerstoffatome enthält, das in diesem Fall verwendet werden kann, sind solche, die sich durch die gleichen Arten von Atomen zusammensetzen, wie sie in dem Isolationsfilm 704 vorhanden sind (wie CO und CO_2) oder solche, die Atome enthalten, die in dem Isolationsfilm 704 existieren, und Atome, die von dem Isolationsfilm 704 dissoziiert werden können (NO , N_2O , NO_2 , H_2O und H_2O_2).

Es ist ebenfalls möglich, Wasserstoff-Radikale zur Erhöhung der Viskosität der Oberflächenschicht des Isolationsfilmes 704 anzuwenden. Es wird vermutet, daß diese Erhöhung der Viskosität in diesem Fall durch die Entfernung der Bindungen R_1-Si und R_2-Si von dem

Si-O-Netzwerk des Moleküls (z. B. $(Si(R_1R_2)-O-)_n$; worin R_1 und R_2 jeweils eine Seitenkette sind), das den Isolationsfilm 704 ausmacht, durch Umwandeln dieser Bindungen in R_1-H bzw. R_2-H verursacht wird, wodurch eine Reaktion in den Si-O-Netzwerken induziert wird, wodurch die chemische Bindung in dem Isolationsfilm verstärkt wird.

Es ist ebenfalls möglich, die Viskosität der Oberflächenschicht des Isolationsfilmes 704 durch Förderung der Reaktion von spezifischen funktionellen Gruppen in dem Isolationsfilm 704 durch Induktion einer Vibrationsanregung der funktionellen Gruppen zu erhöhen. Bevorzugt kann dies durch die Anwendung eines Anregungslichtes für die OH-Bindung, die in dem Isolationsfilm 704 in einer geringen Menge vorhanden ist, bewirkt werden, und es wird angenommen, daß dies ein Grund der niedrigen Viskosität des Filmes ist. Das Licht, das für die Erhöhung der Viskosität des Filmes effektiv war, war ein Infrarotlicht mit einer Wellenlänge von etwa 2,6 bis 3,3 μm , das der Absorptionswellenlänge der OH-Bindung entspricht. Dieses Infrarotlicht war bei der Anregung der OH-Bindungen, die hauptsächlich in Seitenketten von R_1 und R_2 existieren, effektiv. Die Verwendung eines Infrarotlichtes mit einer Wellenlänge von 3,3 bis 3,5 μm war ebenfalls für die Erhöhung der Viskosität des Isolationsfilmes 704 effektiv.

Es ist ebenfalls möglich, die Viskosität der Oberflächenschicht des Isolationsfilmes 704 durch Bestrahlen von Ultraviolettlicht auf den Isolationsfilm 704 zu erhöhen, um so den Elektronenzustand der Moleküle, die den Isolationsfilm 704 ausmachen anzuregen. Insbesondere war die Verwendung von Ultraviolettstrahlen mit einer Wellenlänge von 142 bis 308 nm am meisten effektiv. In diesem Fall wurde eine Excimer-Lampe als Lichtquelle verwendet. Jedoch können andere Arten der Lichtquelle ebenfalls verwendet werden.

Es ist ebenfalls möglich, die Viskosität der Oberflächenschicht des Isolationsfilmes 704 durch Erwärmen nur der Oberflächenschicht des Isolationsfilm 704 zu erhöhen. Wenn z. B. ein Substrat, das den Isolationsfilm 704 mit einer niedrigen Viskosität trägt, einer Mikrowelle ausgesetzt wird, wird das Wassermolekül, das in einer geringen Menge in der Oberflächenschicht des Isolationsfilmes existiert, angeregt, wodurch nur die Oberfläche des Isolationsfilmes 704 erwärmt und die Vernetzungsreaktion zwischen den Molekülen, die den Isolationsfilm 704 ausmachen, gefördert wird.

Die in diesem Fall anzuwendende Atmosphäre sollte bevorzugt eine sein, die die Vernetzungsreaktion nicht behindert, wie eine Inertgasatmosphäre (wie eine Stickstoffgas- oder Argongasatmosphäre) oder eine Atmosphäre mit vermindertem Druck. Alternativ kann eine Argongasatmosphäre, umfassend Sauerstoffatom, verwendet werden, um die meisten der aktiven Keime zu erzeugen, die Sauerstoffatome enthalten, die durch eine Mikrowelle zur Förderung der Vernetzungsreaktion erzeugt werden sollen.

Es ist ebenfalls möglich, eine Hochkeim-Temperatursteueranlage zu verwenden, die z. B. mit einer Infrarot-Wärmelampe versehen ist. Wenn in diesem Fall die Temperatur-Erhöhungsgeschwindigkeit zu gering ist, wird nicht nur die Oberfläche, sondern ebenfalls das Innere des Isolationsfilmes 704 erwärmt, wodurch eine Vernetzungsreaktion des Inneren des Isolationsfilmes 704 verursacht wird. Die Vernetzung des Inneren des Isolationsfilmes 704 ist unerwünscht, da irgendeine Spannung in dem Isolationsfilm 704 zu den darunterliegenden Leitungen 703a bis 703c übertragen werden

kann.

Im Hinblick auf die spezifische Wärmekapazität und Wärmeleitungsgeschwindigkeit des Isolationsfilmes 704 und der Temperaturabhängigkeit der Vernetzungsreaktion ist eine Erwärmungsrate von 10° C/min oder mehr erforderlich. Die Endtemperatur sollte bevorzugt etwa 450° C bis 700° C sein. Wenn das Substrat auf diese Endtemperatur erwärmt wird, sollte die Temperatur bevorzugt unmittelbar auf 450° C oder weniger erniedrigt und bei dieser Temperatur gehalten werden, um irgendwelche Deformationen der Leitungen 703a bis 703c zu vermeiden.

Die Verfahrensbedingungen wie die Behandlungstemperatur, Gasdruck, Gasflußrate, Entladungsausstoß, Intensität des Lichtes, die Wellenlänge des Lichtes, Behandlungszeit oder die Rate der Erhöhung oder Verminderung der Temperatur bei der oben erwähnten Behandlung zur Erhöhung der Viskosität der Oberflächenschicht des Isolationsfilmes 704 können angemessen in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren wie dem Ausgangsmaterial und der Viskosität des Isolationsfilmes 704, der Tiefe der Schicht mit erhöhter Viskosität und der gewünschten Viskosität des Isolationsfilmes 704 modifiziert werden. Es ist ebenfalls möglich, eine Vielzahl von Behandlungsverfahren zu kombinieren.

Obwohl Fig. 9 ein Beispiel für eine Anlage für die Durchführung von verschiedenen Verfahren zum Niederschlag eines Isolationsfilmes und zur Erhöhung der Viskosität der Oberflächenschicht des Isolationsfilm zeigt, kann eine Anlage, die nur einen Teil der Konstruktion, die in Fig. 9 gezeigt ist, verwendet, je nach Bedarf verwendet werden. Z.B. kann der Bereich der Konstruktion, der zur Verwendung der Erhöhung der Viskosität der Oberflächenschicht des Isolationsfilms angepaßt ist, von dem Bereich getrennt werden, der zur Verwendung für den Niederschlagsschritt des Isolationsfilmes angepaßt ist, und eine Anlage, umfassend einen dieser Bereiche, kann je nach Bedarf verwendet werden.

Bei diesem Beispiel wurde ein Silicium-Substrat verwendet, aber andere Arten von Substraten wie ein GaAs-Substrat, ZnSe-Substrat oder ein SOI-Substrat können ebenfalls anstelle des Silicium-Substrates verwendet werden.

Obwohl der Schritt der selektiven Bildung eines Kontaktloches in dem Isolationsfilm 704 unter Verwendung einer getrennten Anlage durchgeführt wurde, kann die Sequenz der Schritte, einschließlich dem Schritt des Niederschlags eines Isolationsfilmes, dem Schritt der Erhöhung der Viskosität der Oberflächenschicht eines Isolationsfilm und der Schritt der Bildung eines Kontaktloches kontinuierlich ohne Abbruch des Vakuumzustandes in einer geeigneten Anlage durchgeführt werden. Die Folge dieser Schritte kann in dem gleichen Vakuumbehälter durchgeführt werden.

Wenn ein Verfahren zur Erhöhung der Viskosität der Oberfläche des Isolationsfilmes 704 mit einer niedrigen Viskosität ebenso wie der Viskosität des Seitenwandbereiches eines Durchgangsloches durch Induzieren einer Vernetzungsreaktion an der Oberfläche des Isolationsfilmes ebenso wie an dem Seitenwandbereich des Durchgangsloches angewandt wird, wird ein tiefer Bereich des Isolationsfilmes 704 ebenfalls sehr viskos, wodurch verursacht wird, daß jegliche Spannungen in dem Isolationsfilm 704 auf die darunter liegenden Leitungen 703a und 703c übertragen werden.

Wenn es gewünscht ist, die Übertragung der Spannung von dem Isolationsfilm 704 auf die darunter liegenden Leitungen 703a und 703c zu verhindern, sollte die

maximale Filmdicke t_{\max} des Isolationsfilmes 704 bevorzugt so eingestellt werden, daß die Gleichung erfüllt wird: $d_{\max} \leq 0,1 t_{\max}$, worin d_{\max} die maximale Entfernung von der Oberfläche des Isolationsfilmes 704 oder von der Seitenwand des Durchgangsloches 706 zu dem Bereich der hohen Viskosität des Isolationsfilmes 704 bedeutet.

Diese maximale Entfernung " d_{\max} " von der Oberfläche der Isolationsfilmes 704 oder von der Seitenwand des Durchgangsloches 706 zu dem Bereich der hohen Viskosität des Isolationsfilm 704 sollte im Hinblick auf den minimalen Wert, der zur Verhinderung der Deformation des Isolationsfilmes 704 und jeglicher Schädigung durch das Plasma erforderlich ist, und im Hinblick auf den Wert, bei dem die Wirkungen zur Verhinderung der oben erwähnten Deformation und Schädigung gesättigt sind bevorzugt etwa $10 \text{ nm} \leq d_{\max} \leq 100 \text{ nm}$ sein.

Als Mittel zum Schaffen einer Oberflächenschicht mit einer Viskosität auf dem Isolationsfilm (einem ersten Isolationsfilm) mit einer niedrigen Viskosität, kann ein getrennter Isolationsfilm (ein zweiter Isolationsfilm) mit einer hohen Viskosität anstelle der Erhöhung der Viskosität der Oberflächenschicht des Isolationsfilm 704 gebildet werden.

In diesem Fall muß die Filmdicke des zweiten Isolationsfilmes nicht durch das oben erwähnte " d_{\max} " begrenzt sein, sondern kann wahlweise nach Erfordernis in Abhängigkeit von der Qualität des zweiten Isolationsfilmes und dem Layout der Halbleitervorrichtung geändert werden.

Die Bildung des zweiten Isolationsfilmes sollte bevorzugt nach der Bildung des ersten Isolationsfilmes und vor der Bildung des Durchgangsloches durchgeführt werden. Die Bildung des zweiten Isolationsfilmes kann nach dem Schritt der Bildung des Durchgangsloches durchgeführt werden, aber in diesem Fall kann der zweite Isolationsfilm möglicherweise ebenfalls an der Bodenfläche des Durchgangsloches gebildet werden. Wenn die Filmdicke des zweiten Isolationsfilmes, der an der Bodenfläche des Durchgangsloches gebildet werden soll, groß ist, kann ein Schritt der Wiedereröffnung des Durchgangsloches erforderlich sein.

Der Schritt der Bildung des zweiten Isolationsfilmes mit einer höheren Viskosität als die Viskosität des ersten Isolationsfilmes kann unter Anwendung eines Kondensations-CVD-Verfahrens, wie es bei diesem Beispiel angewandt wird, unter Verfahrensbedingungen durchgeführt werden, die die Erhöhung der Viskosität des Isolationsfilmes ermöglichen.

Spezifisch wird die Flußrate von Sauerstoffgas bezüglich der Flußrate eines organischen Silangases kleiner gemacht, oder der Entladungsausstoß zum Erzeugen von Sauerstoffgas-Radikalen wird erhöht, wodurch der Polymerisationsgrad des Polymerisationsreaktionsproduktes zwischen dem organischen Silan und Sauerstoffgas-Radikalen erhöht wird.

Das Verfahren zur Bildung des zweiten Isolationsfilmes kann ebenfalls durch Anwendung des Tetraethoxysilan (TEOS) -Ozon-Verfahrens oder des Polymerisationsverfahrens eines organischen Materials zur Bildung eines Polymerfilmes durchgeführt werden.

Der Schritt der Bildung des zweiten Isolationsfilmes nach der Bildung des ersten Isolationsfilmes sollte vorzugsweise kontinuierlich ohne Abbruch des Vakuumzustandes durchgeführt werden. Wenn ein Substrat, das den ersten Isolationsfilm darauf trägt, einmal unmittelbar nach dem Niederschlag davon der Luftatmosphäre

ausgesetzt wird, ist die Oberfläche des ersten Isolationsfilmes, der noch eine niedrige Viskosität hat, anfällig für die Adsorption von feinen Teilchen und Wasser, was möglicherweise für die Qualität des Isolationsfilmes ebenso wie der Leitung, die auf dem ersten Isolationsfilm gebildet wird, nachteilig ist.

Weiterhin sollte der Schritt der Bildung des zweiten Isolationsfilmes nach der Bildung des ersten Isolationsfilmes bevorzugt in dem gleichen Vakuumbehälter durchgeführt werden, um die Deformation des Isolationsfilmes während des Transfers davon zu verhindern und jegliche Adsorption von Stäuben im Inneren der Anlage zu verhindern.

Eine Behandlung für die Erhöhung der Viskosität der Oberflächenschicht des ersten Isolationsfilmes (Isolationsfilm 704) kann nach der Bildung des ersten Isolationsfilmes und vor dem Schritt der Bildung des zweiten Isolationsfilmes durchgeführt werden.

In diesem Beispiel wurde ein Kondensations-CVD-Verfahren für die Bildung eines Isolationsfilmes angewandt. Jedoch ist diese Erfindung ebenfalls für ein anderes Verfahren zur Bildung eines Isolationsfilmes mit niedriger Viskosität anwendbar. Die Eigenschaften wie eine niedrige Dielektrizitätskonstante, niedrige Hygroskopizität und niedrige Viskosität, die für den Isolationsfilm erforderlich sind, basieren auf den Erfordernissen wie eine Hochgeschwindigkeitsantwort, thermische Spannung und Stufenbedeckung, die für einen Schaltkreis erforderlich sind.

Insbesondere muß als Gegenmaßnahme für die Probleme der Stufenbedeckung, thermischen Spannung und Oberflächenflachheit ein Isolationsfilm mit niedriger Viskosität auf der oberen Fläche eines Substrates gebildet werden. Ein Ziel dieser Erfindung liegt darin, die Resistenz des Isolationsfilmes gegen Schädigung zu verbessern und die Bearbeitungsgenauigkeit des Isolationsfilm zu verbessern, während die niedrige Dielektrizitätskonstante, niedrige Hygroskopizität und niedrige Viskosität (Innenbereich) des Filmes beibehalten werden, die für den Isolationsfilm erforderlich sind, wobei das oben erwähnte Ziel durch Bildung eines Isolationsfilmes erzielt wird, der eine niedrige Viskosität hat, mit der Ausnahme der Oberflächenschicht davon, die eine hohe Viskosität aufweist.

Diese Erfindung ist nicht auf die oben erwähnten Beispiele beschränkt. Z.B. wurde diese Erfindung unter Bezugnahme auf einen Zwischenschicht-Isolationsfilm in den oben erwähnten Beispielen erläutert. Jedoch ist diese Erfindung ebenfalls für einen Schutz-Isolationsfilm (Passivierungsfilm) anwendbar.

Wenn eine große Fläche eines Passivierungsfilmes 805 dieser Erfindung in der Nähe der Peripherie einer Bindungsanschlußfläche oder der Nähe der peripheren Schaltung angeordnet ist, wie in den Fig. 11A und 11B gezeigt, sollte eine Blindschaltssäule 806 zuvor bei der Bildung einer Leitung 803 durch Bildung eines Musters aus einem Al-Legierungsfilm gebildet werden. Der Passivierungsfilm 805 kann auf gleiche Weise wie der Zwischenschicht-Isolationsfilm 204 gebildet werden.

Die Blindschaltssäule 806 kann unter Verwendung eines Filmes aus einem Isolationsmaterial gebildet werden, das von dem oben erwähnten Siliciumdioxid-Film 804 verschieden ist, wie ein Plasma-CVD-Siliciumdioxid-Film oder ein Siliciumnitrid-Film. Wenn ein Film aus diesen Materialien verwendet wird, kann das Problem vermieden werden, daß der Passivierungsfilm 805 aufgrund des auf die Leitung 803 während eines Bindungsschrittes auferlegten Druckes deformiert werden kann.

In den Fig. 11A und 11B bedeutet das Bezugszeichen 801 ein Silicium-Substrat und das Bezugszeichen 807 ein Kontaktloch (Durchgangsloch).

Nahezu die gleiche Wirkung kann durch thermisches Härten der Oberfläche des Passivierungsfilmes 805 bei einer niedrigen Temperatur von 300°C oder weniger anstelle der Bildung der Blindschaltssäule 806 erhalten werden.

Wie oben erläutert ist es entsprechend dieser Erfindung möglich, einen Isolationsfilm zu schaffen, der innerhalb eines feinen Bereiches verborgen werden kann, während eine ausgezeichnete Form davon behalten wird.

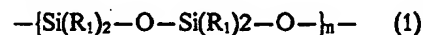
Patentansprüche

1. Halbleitervorrichtung, gekennzeichnet durch ein Substrat (201) und zumindest einen von einem Zwischenschicht-Isolationsfilm (204) und einem Passivierungs-Isolationsfilm, wobei jeder auf dem Substrat (201) gebildet ist und Silicium, Sauerstoff, Kohlenstoff und Wasserstoff enthält, wobei der Gehalt an Kohlenstoff nicht geringer ist als der Gehalt an Silicium.

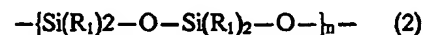
2. Halbleitervorrichtung nach Anspruch 1, worin der Isolationsfilm eine Dielektrizitätskonstante von 1,8 bis 3,2 hat.

3. Halbleitervorrichtung nach Anspruch 2, worin der Isolationsfilm eine Dielektrizitätskonstante von 1,8 bis 2,5 hat.

4. Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, worin der Isolationsfilm eine Rückgratkette mit einer Struktur aufweist, ausgewählt aus der Gruppe, bestehend aus den folgenden Formeln (1) bis (5):



worin R_1 C_nH_{2n+1} ist (worin n eine positive ganze Zahl ist);



worin R_1 $-O-C_nH_{2n+1}$ ist (worin n eine positive ganze Zahl ist);



worin R_1 C_nH_{2n+1} ist (worin n eine positive ganze Zahl ist), und R_2 C_mH_{2m+1} sind (worin m eine positive ganze Zahl ist), worin n von m verschieden ist;



worin R_1 $-O-C_nH_{2n+1}$ ist (worin n eine positive ganze Zahl ist) und R_2 ist $-O-C_mH_{2m+1}$ sind (worin m eine positive ganze Zahl ist), worin n von m verschieden ist; und



worin R_1 $-O-C_nH_{2n+1}$ oder C_nH_{2n+1} ist (worin n eine positive ganze Zahl ist); R_2 $-O-C_mH_{2m+1}$ oder C_mH_{2m+1} ist (worin m eine positive ganze Zahl ist); n von m verschieden ist; und worin zumindest eines von R_1 und R_2 über $-O-$ mit R_1 oder R_2 verbunden ist, das zu der anderen Rückgratkette gehört.

5. Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, worin eine Schaltsäule, bestehend aus einem metallischen Material oder einem Isolationsmaterial, die gegenüber einer Deformation des Isolationsfilmes resistent ist, in dem Isolationsfilm verborgen ist.

5. Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, worin eine Oberflächenschicht des Isolationsfilmes eine höhere Viskosität als der Rest des Isolationsfilmes aufweist.

7. Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei der Isolationsfilm inert ist und nicht in der Lage ist, Wasser bei einer Temperatur von nicht mehr als 650°C freizusetzen.

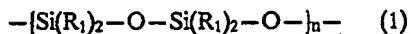
8. Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, worin ein Atomverhältnis von Kohlenstoff zu Silicium in dem Isolationsfilm 1,0 bis 3,0 ist.

9. Halbleitervorrichtung, gekennzeichnet durch ein Substrat (201) und zumindest einem von einem Zwischenschicht-Isolationsfilm (204) und einem Passivierungs-Isolationsfilm, die jeweils auf dem Substrat (201) gebildet sind, umfassend Silicium, Sauerstoff, Kohlenstoff und Wasserstoff und der bei Raumtemperatur viskos ist, wobei er eine Viskosität von 100 cps bis 300 000 cps bei Raumtemperatur hat.

10. Halbleitervorrichtung nach Anspruch 9, worin der Isolationsfilm eine Dielektrizitätskonstante von 1,8 bis 3,2 hat.

11. Halbleitervorrichtung nach Anspruch 10, worin der Isolationsfilm eine Dielektrizitätskonstante von 1,8 bis 2,5 hat.

12. Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 11, worin der Isolationsfilm eine Rückgratkette mit einer Struktur aufweist, ausgewählt aus der Gruppe, bestehend aus den folgenden Formeln (1) bis (5):



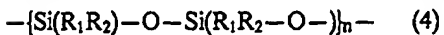
worin R_1 C_nH_{2n+1} ist (worin n eine positive ganze Zahl ist);



worin R_1 $O-C_nH_{2n+1}$ ist (worin n eine positive ganze Zahl ist);



worin R_1 C_nH_{2n+1} ist (worin n eine positive ganze Zahl ist), und R_2 C_mH_{2m+1} sind (worin m eine positive ganze Zahl ist), worin n von m verschieden ist;



worin R_1 $-O-C_nH_{2n+1}$ ist (worin n eine positive ganze Zahl ist) und R_2 ist $O-C_mH_{2m+1}$ sind (worin m eine positive ganze Zahl ist), worin n von m verschieden ist; und



worin R_1 $O-C_nH_{2n+1}$ oder C_nH_{2n+1} ist (worin n eine positive ganze Zahl ist); R_2 $-O-C_mH_{2m+1}$ oder C_mH_{2m+1} ist (worin m eine positive ganze Zahl ist); n von m verschieden ist; und worin zumindest eines von R_1 und R_2 über $-O-$ mit R_1 oder R_2

verbunden ist, das zu der anderen Rückgratkette gehört.

13. Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 12, worin eine Schaltsäule, bestehend aus einem metallischen Material oder einem Isolationsmaterial, die gegenüber einer Deformation des Isolationsfilmes resistent ist, in dem Isolationsfilm verborgen ist.

14. Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 13, worin eine Oberflächenschicht des Isolationsfilmes eine höhere Viskosität als der Rest des Isolationsfilmes aufweist.

15. Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 14, worin der Isolationsfilm inert ist und nicht in der Lage ist, Wasser bei einer Temperatur von nicht mehr als 650°C freizusetzen.

16. Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 15, worin ein Atomverhältnis von Kohlenstoff zu Silicium in dem Isolationsfilm 1,0 bis 3,0 ist.

17. Halbleitervorrichtung, umfassend ein Halbleitersubstrat, das ein Element trägt, einen ersten Isolationsfilm, der auf dem Halbleitersubstrat gebildet ist, eine Vielzahl von Leitungen, wobei zumindest eine der Leitungen elektrisch mit dem Element durch ein Kontaktloch verbunden ist; einen zweiten Isolationsfilm, der auf den Leitungen und auf dem ersten Isolationsfilm gebildet ist, wo die Leitungen nicht gebildet sind und Silicium, Sauerstoff, Kohlenstoff und Wasserstoff enthält, wobei der Gehalt an Kohlenstoff nicht geringer ist als der Gehalt an Silicium; und

einen dritten Isolationsfilm, der auf dem zweiten Isolationsfilm gebildet und aus einem Material hergestellt ist, das sich von dem Material unterscheidet, das den zweiten Isolationsfilm ausmacht.

18. Halbleitervorrichtung nach Anspruch 17, worin der Isolationsfilm eine Dielektrizitätskonstante von 1,8 bis 3,2 hat.

19. Halbleitervorrichtung nach Anspruch 18, worin der Isolationsfilm eine Dielektrizitätskonstante von 1,8 bis 2,5 hat.

20. Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 17 bis 19, worin der Isolationsfilm eine Rückgratkette mit einer Struktur aufweist, ausgewählt aus der Gruppe, bestehend aus den folgenden Formeln (1) bis (5):



worin R_1 C_nH_{2n+1} ist (worin n eine positive ganze Zahl ist);



worin R_1 $-O-C_nH_{2n+1}$ ist (worin n eine positive ganze Zahl ist);



worin R_1 C_nH_{2n+1} ist (worin n eine positive ganze Zahl ist), und R_2 C_mH_{2m+1} sind (worin m eine positive ganze Zahl ist), worin n von m verschieden ist;



worin R_1 $-O-C_nH_{2n+1}$ ist (worin n eine positive ganze Zahl ist) und R_2 ist $-O-C_mH_{2m+1}$ sind (worin m eine positive ganze Zahl ist), worin n von m

verschieden ist; und



worin $\text{R}_1\text{O}-\text{C}_n\text{H}_{2n+1}$ oder $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}$ ist (worin n eine positive ganze Zahl ist); $\text{R}_2\text{O}-\text{C}_m\text{H}_{2m+1}$ oder $\text{C}_m\text{H}_{2m+1}$ ist (worin m eine positive ganze Zahl ist); n von m verschieden ist; und worin zumindest eines von R_1 und R_2 über $-\text{O}-$ mit R_1 oder R_2 verbunden ist, das zu der anderen Rückgratkette gehört.

21. Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 17 bis 20, worin eine Schaltsäule, bestehend aus einem metallischen Material oder einem Isolationsmaterial, die gegenüber einer Deformation des Isolationsfilmes resistent ist, in dem Isolationsfilm verborgen ist.

22. Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 17 bis 21, worin eine Oberflächenschicht des Isolationsfilmes eine höhere Viskosität als der Rest des Isolationsfilmes aufweist.

23. Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 17 bis 22, worin der Isolationsfilm inert ist und nicht in der Lage ist, Wasser bei einer Temperatur von nicht mehr als 650°C freizusetzen.

24. Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 17 bis 23, worin ein Atomverhältnis von Kohlenstoff zu Silicium in dem Isolationsfilm 1,0 bis 3,0 ist.

25. Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 17 bis 24, worin der zweite Isolationsfilm bei Raumtemperatur viskos ist, wobei er bei Raumtemperatur eine Viskosität von 100 bis 300 000 cps hat.

26. Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 17 bis 25, worin eine Filmdicke des dritten Isolationsfilmes, die auf einer oberen Fläche des zweiten Isolationsfilmes gebildet ist, dünner ist als eine Filmdicke des dritten Isolationsfilmes, der auf einer oberen Fläche des ersten Isolationsfilmes gebildet ist, der zwischen den Leitungen angeordnet ist.

27. Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 17 bis 26, worin der erste Isolationsfilm und der zweite Isolationsfilm aus einem Siliciumdioxid-Film gebildet sind.

28. Halbleitervorrichtung, gekennzeichnet durch ein Halbleitersubstrat; einen ersten leitenden Film der auf dem Halbleitersubstrat gebildet ist;

einen Isolationsfilm, der mit einem Kontaktloch versehen und so gebildet ist, daß der erste leitende Film bedeckt ist; und

einen zweiten leitenden Film, der auf dem Isolationsfilm derart gebildet ist, daß er mit dem ersten leitenden Film durch das Kontaktloch elektrisch kontaktiert ist;

worin ein Bereich des Isolationsfilmes, der in der Nähe einer Grenzfläche davon mit dem zweiten leitenden Film vorgesehen ist, ohne einen Bereich, der an dem Kontaktloch vorgesehen ist, so aufgebaut ist, daß er eine Viskosität von 10 000 cp oder mehr hat und der Rest des Isolationsfilmes ohne den Bereich, der in der Nähe der Grenzfläche davon mit dem zweiten leitenden Film angeordnet ist, so konstruiert ist, daß er eine Viskosität von weniger als 10 000 cp hat.

29. Halbleitervorrichtung nach Anspruch 28, worin ein Bereich des Isolationsfilmes, der in der Nähe einer Grenzfläche davon mit einem Bereich des zweiten leitenden Filmes angeordnet ist, der an der

Seitenwand des Kontaktloches lokalisiert ist, so konstruiert ist, daß er eine Viskosität von 10 000 cp oder mehr hat.

30. Halbleitervorrichtung nach Anspruch 28 oder 29, worin ein Bereich des Isolationsfilmes, der in der Nähe einer Grenzfläche davon mit einem Bereich des zweiten leitenden Filmes angeordnet ist, der an einer Seitenwand des Kontaktloches lokalisiert ist, so konstruiert ist, daß die Gleichung erfüllt ist: $d_{\max} \leq 0,1 t_{\max}$, worin t_{\max} eine maximale Filmdicke des Isolationsfilmes ist, und d_{\max} eine maximale Entfernung von der Grenzfläche davon mit dem zweiten leitenden Film zu dem Bereich des Isolationsfilmes bedeutet, der in der Nähe der Grenzfläche angeordnet ist.

31. Halbleitervorrichtung nach Anspruch 28, worin ein Bereich des Isolationsfilmes, der in der Nähe einer Grenzfläche davon mit einem Bereich des zweiten leitenden Filmes, der an einer Seitenwand des Kontaktloches lokalisiert ist, vorgesehen ist, so konstruiert ist, daß die Gleichung erfüllt ist: $10 \text{ nm} \leq d_{\max} \leq 100 \text{ nm}$, worin d_{\max} eine maximale Entfernung von der Grenzfläche davon mit dem zweiten leitenden Film zu dem Bereich des Isolationsfilmes ist, der in der Nähe der Grenzfläche angeordnet ist.

32. Verfahren zur Herstellung einer Halbleitervorrichtung, umfassend die folgenden Schritte:

Bildung eines ersten Isolationsfilmes auf einem Halbleitersubstrat, das ein Element darauf trägt; Bildung eines Kontaktloches in dem ersten Isolationsfilm;

Bildung einer Vielzahl von Leitungen auf dem ersten Isolationsfilm, worin zumindest eine der Vielzahl von Leitungen über das Kontaktloch mit dem Element elektrisch kontaktiert ist;

Bildung eines zweiten Isolationsfilmes auf dem ersten Isolationsfilm, wo die Leitungen nicht gebildet sind, auf eine solche Weise, daß ein Raum zwischen den Leitungen verborgen wird, wobei der zweite Isolationsfilm Silicium, Sauerstoff, Kohlenstoff und Wasserstoff enthält, wobei der Gehalt an Kohlenstoff nicht geringer als der Gehalt an Silicium ist; und

Bildung eines dritten Isolationsfilmes auf der Leitung und auf dem zweiten Isolationsfilm, wobei der dritte Isolationsfilm aus einem Material gebildet wird, das sich von dem Material unterscheidet, das den zweiten Isolationsfilm ausmacht.

33. Verfahren nach Anspruch 32, worin der Schritt der Bildung des zweiten Isolationsfilmes durch ein CVD-Verfahren durchgeführt wird, wobei als Ausgangsmaterialien ein organisches Silan und Sauerstoff im angeregten Zustand verwendet werden und eine Substrat-Temperatur auf -70 bis 50°C eingestellt wird.

34. Verfahren zur Herstellung einer Halbleitervorrichtung, umfassend die folgenden Schritte:

Bildung eines ersten leitenden Filmes auf einem Substrat;

Bildung eines Isolationsfilmes mit einer Viskosität von weniger als 10 000 cp, um dadurch den ersten leitenden Film zu bedecken;

Durchführung einer Viskositätssteigerungsbehandlung, um dadurch die Viskosität einer Oberflächenschicht des Isolationsfilmes auf nicht weniger als 10 000 cp zu erhöhen; und

Bildung eines zweiten leitenden Filmes auf dem

Isolationsfilm auf solche Weise, daß er mit dem ersten leitenden Film elektrisch in Kontakt steht.

35. Verfahren nach Anspruch 34, worin der Schritt der Erhöhung der Viskosität einer Oberflächenschicht des Isolationsfilmes auf nicht weniger als 10 000 cp durch Behandeln des Isolationsfilmes mit einem Plasma aus einem Gas durchgeführt wird, umfassend zumindest ein Molekül, das Sauerstoffatome enthält.

36. Verfahren nach Anspruch 34, worin der Schritt der Erhöhung der Viskosität einer Oberflächenschicht des Isolationsfilmes auf nicht weniger als 10 000 cp durch Behandeln des Isolationsfilmes mit einem Gas durchgeführt wird, umfassend Sauerstoff-Radikale, Ozon oder Wasserstoff-Radikale.

37. Verfahren nach Anspruch 34, worin der Schritt der Erhöhung der Viskosität einer Oberflächenschicht des Isolationsfilmes auf nicht weniger als 10 000 cp durch Bestrahlen des Isolationsfilmes mit einer Infrarot-Strahlenquelle mit einer Wellenlänge von 2,6 bis 3,3 μm durchgeführt wird.

38. Verfahren nach Anspruch 34, worin der Schritt der Erhöhung der Viskosität einer Oberflächenschicht des Isolationsfilmes auf nicht weniger als 10 000 cp durch Bestrahlen des Isolationsfilmes mit einer Ultraviolett-Strahlenquelle mit einer Wellenlänge von 142 bis 308 nm durchgeführt wird.

39. Verfahren nach Anspruch 34, worin der Schritt der Erhöhung der Viskosität einer Oberflächenschicht des Isolationsfilmes auf nicht weniger als 10 000 cp durch Behandeln des Isolationsfilmes mit einer Mikrowelle in einer Atmosphäre aus einem Gas, umfassend zumindest ein Molekül, das Sauerstoffatom enthält; einer Atmosphäre aus einem Inertgas oder einer Atmosphäre mit vermindertem Druck durchgeführt wird.

40. Verfahren nach Anspruch 34, worin der Schritt der Erhöhung einer Viskosität einer Oberflächenschicht des Isolationsfilmes auf nicht weniger als 10 000 cp durch Erwärmen des Substrates, das den Isolationsfilm darauf trägt, bei einer Erwärmungsrate von 10°C/s und Halten der Erwärmungstemperatur auf 450°C oder weniger durchgeführt wird.

41. Verfahren nach Anspruch 34, worin der Schritt der Erhöhung der Viskosität einer Oberflächenschicht des Isolationsfilmes auf nicht weniger als 10 000 cp durch Erwärmen des Substrates, das den Isolationsfilm darauf trägt, bei einer Erwärmungsrate von 10°C/s durchgeführt wird, wodurch die Oberflächenschicht des Isolationsfilmes auf eine Temperatur im Bereich von 450 bis 700°C erwärmt wird.

42. Verfahren zur Herstellung einer Halbleitervorrichtung, umfassend die Schritte:

Bildung eines ersten leitenden Filmes auf einem Substrat,

Bildung eines Isolationsfilmes mit einer Viskosität von weniger als 10 000 cp, um dadurch den ersten leitenden Film zu bedecken;

Bildung eines zweiten Isolationsfilmes mit einer Viskosität von nicht weniger als 10 000 cp auf dem ersten Isolationsfilm; und

Bildung eines zweiten leitenden Filmes auf dem zweiten Isolationsfilm derart, daß er mit dem ersten leitenden Film elektrisch in Kontakt steht.

- Leerseite -

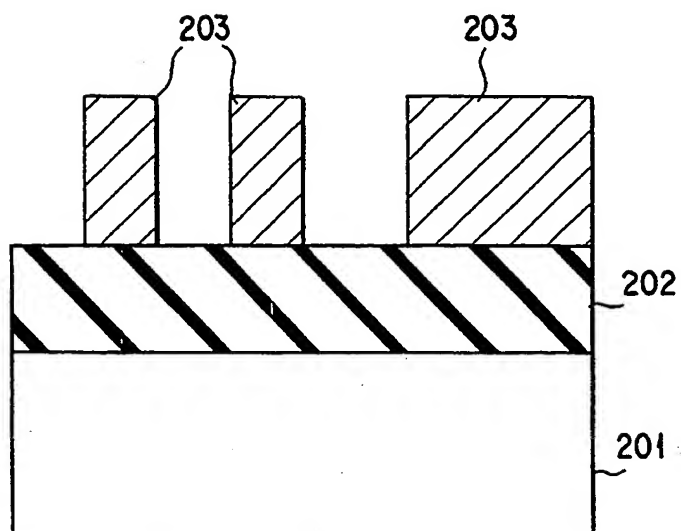


FIG. 3A

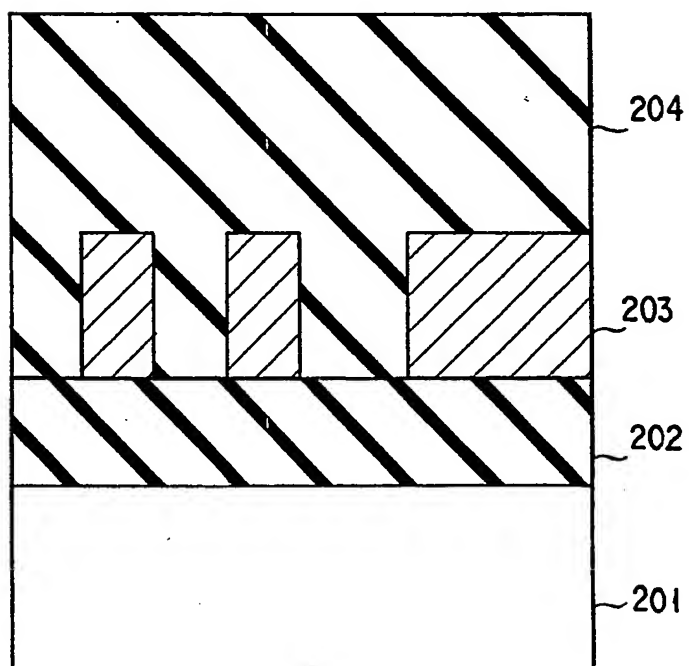


FIG. 3B *

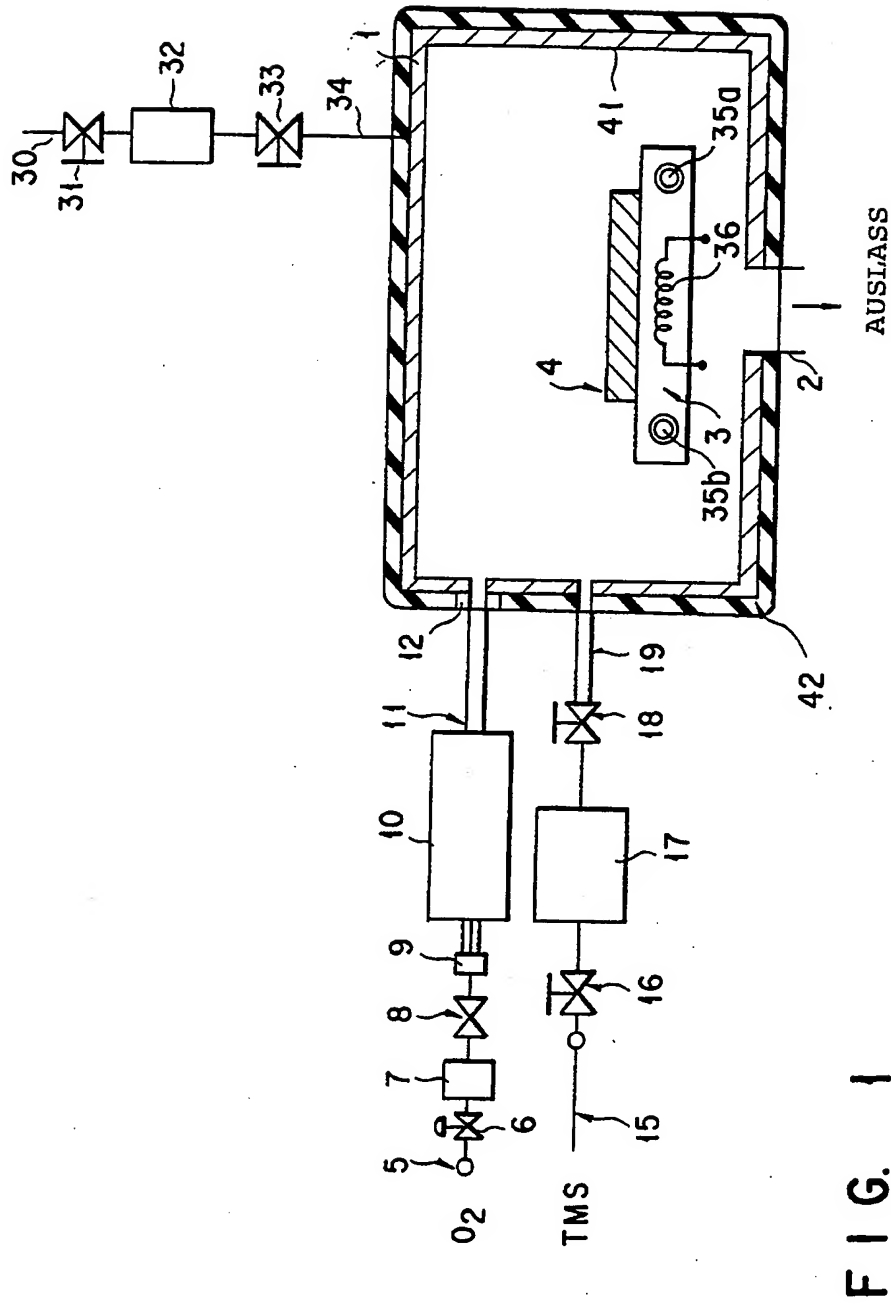


FIG. 1

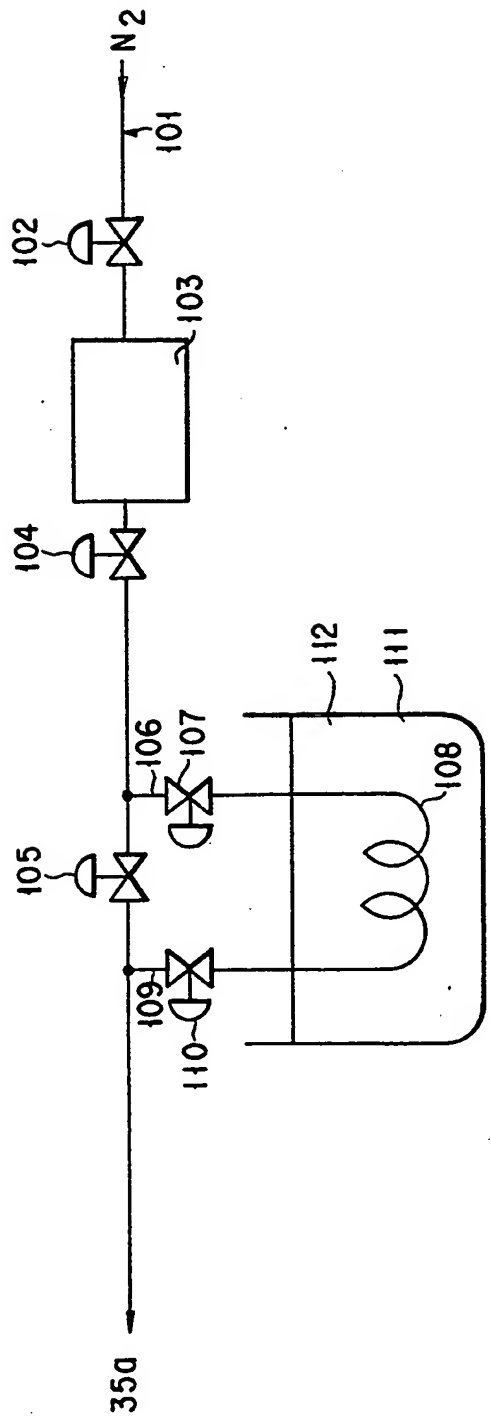


FIG. 2

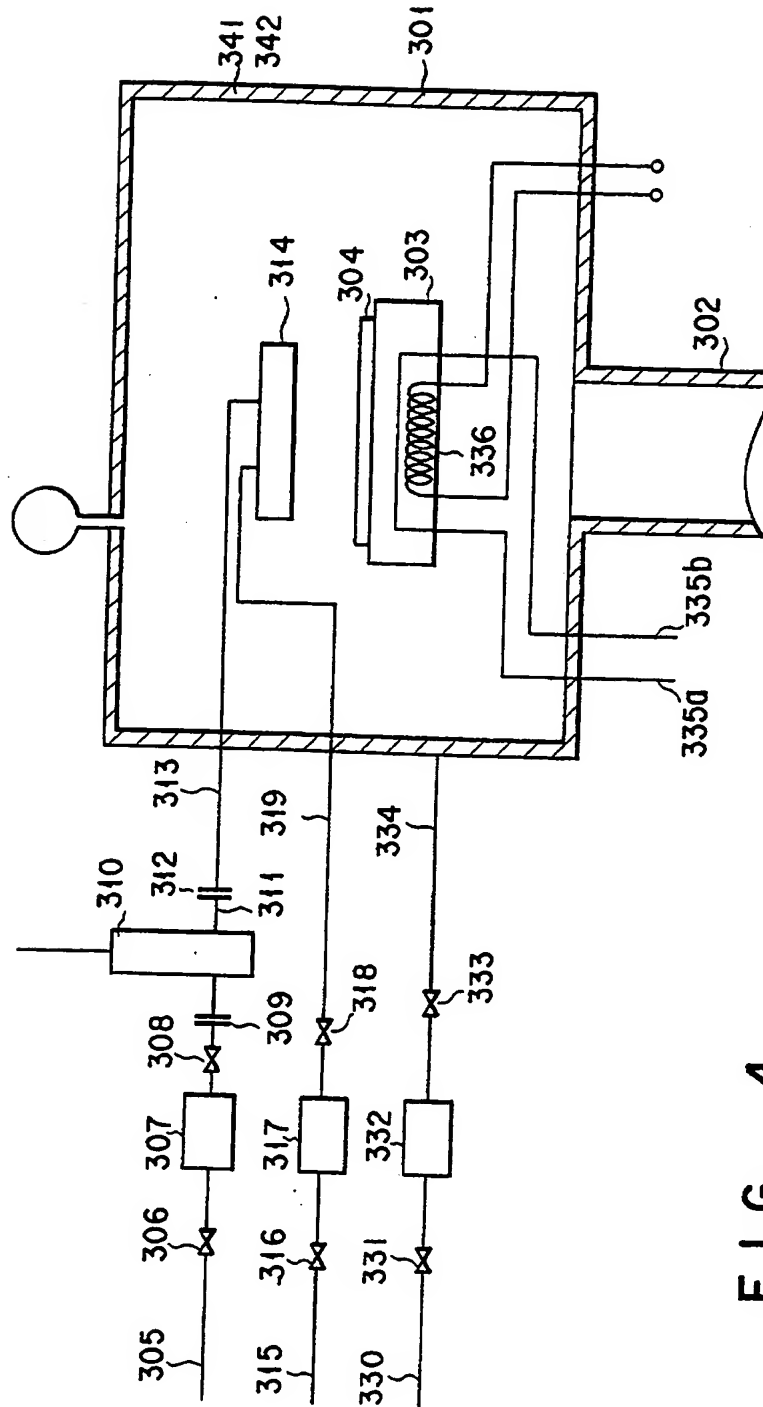


FIG. 4

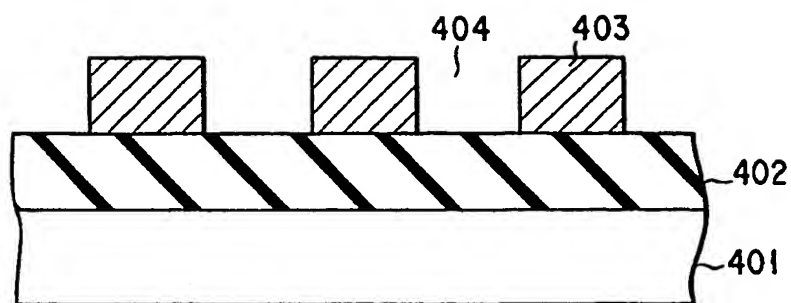


FIG. 5A

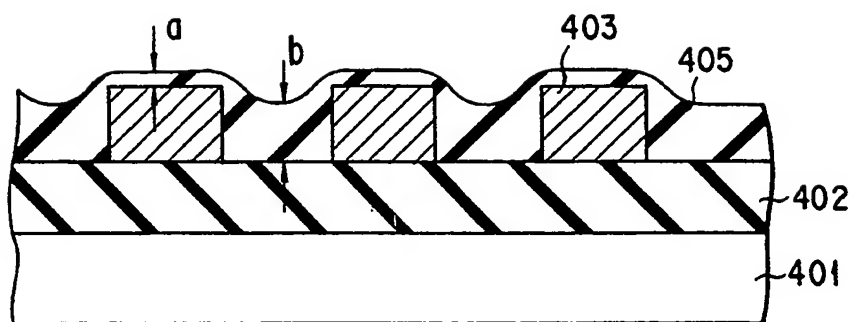


FIG. 5B

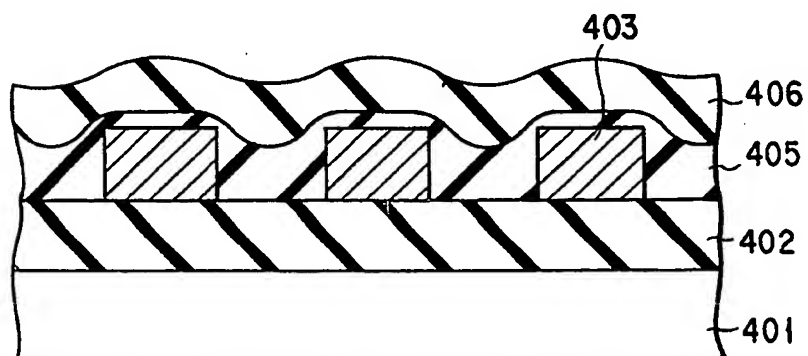


FIG. 5C

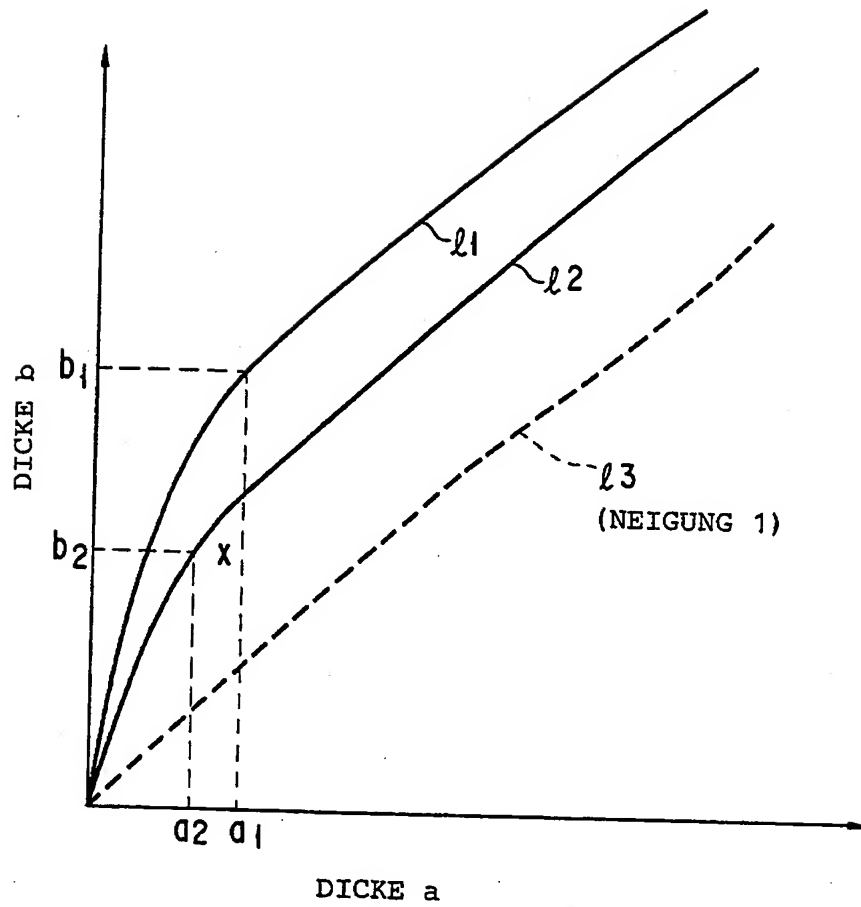


FIG. 6

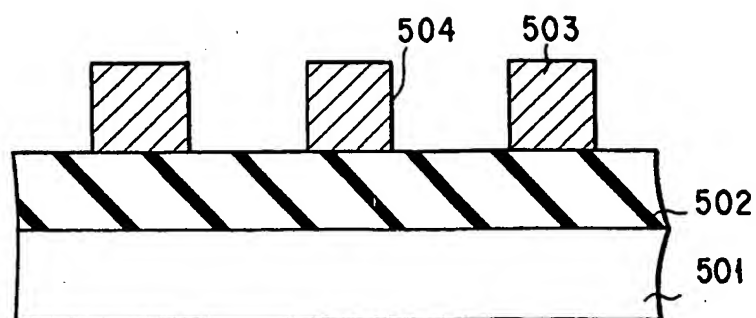


FIG. 7A

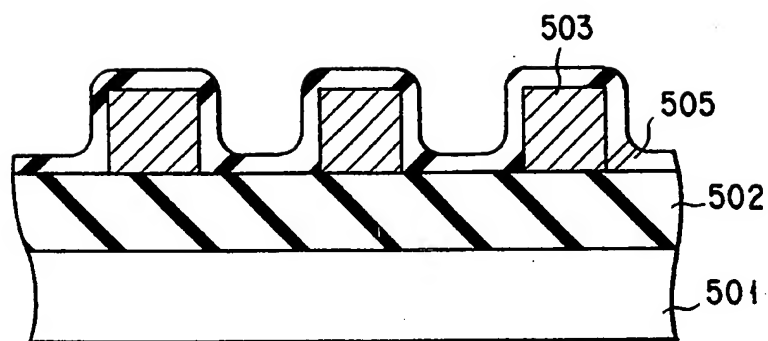


FIG. 7B

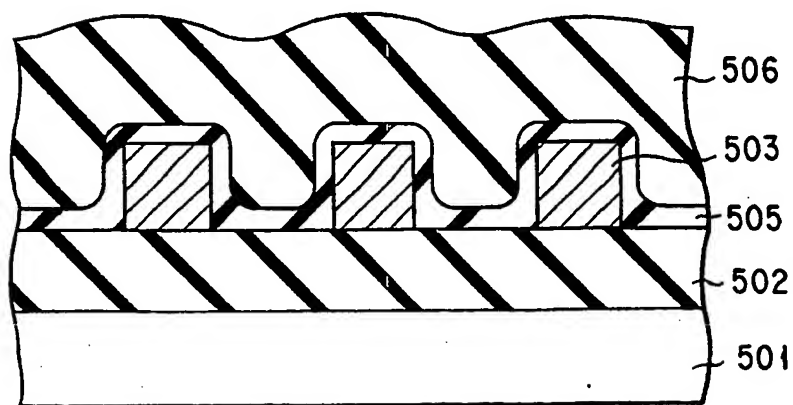


FIG. 7C

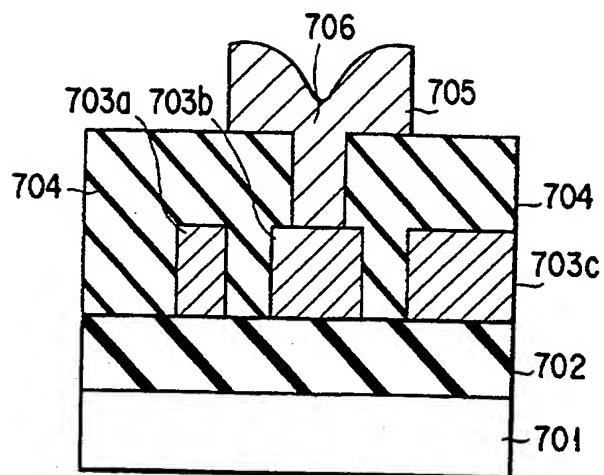


FIG. 8

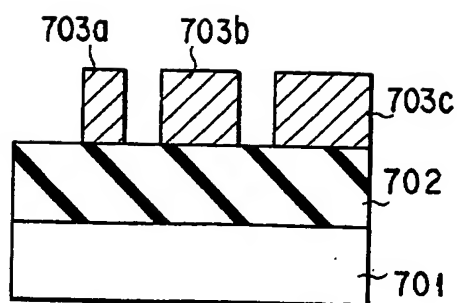


FIG. 10A

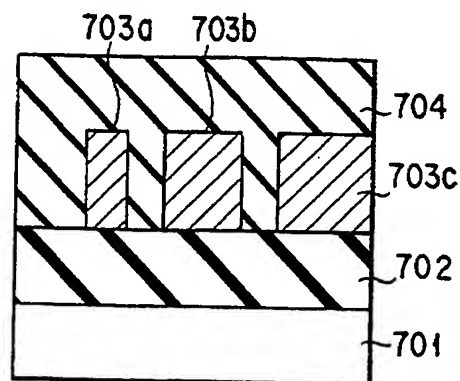


FIG. 10B

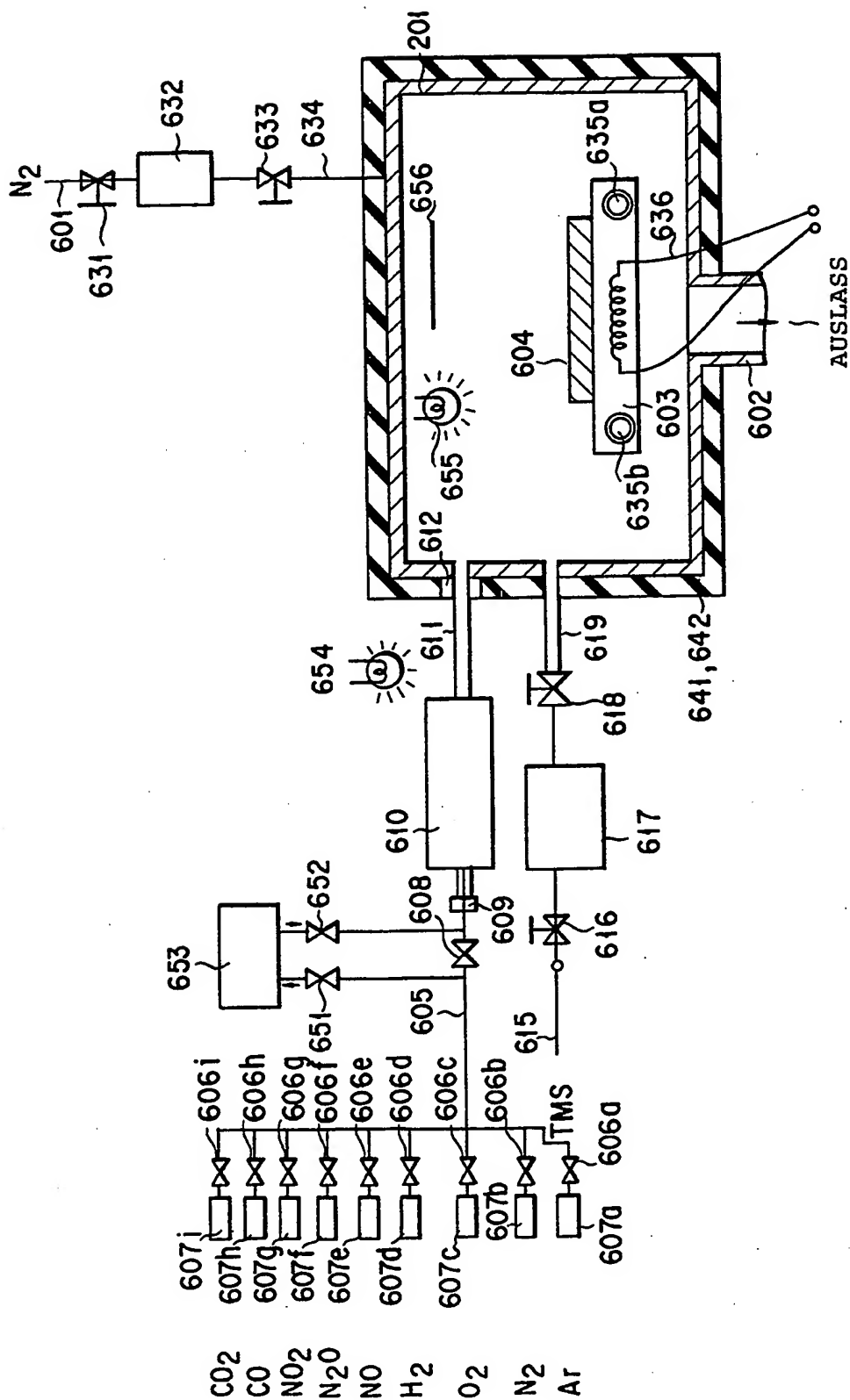


FIG. 9

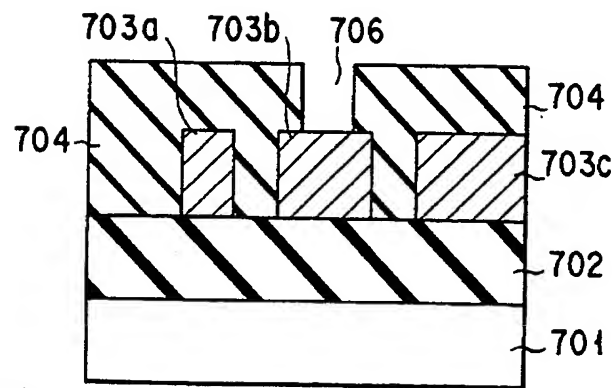


FIG. 10C

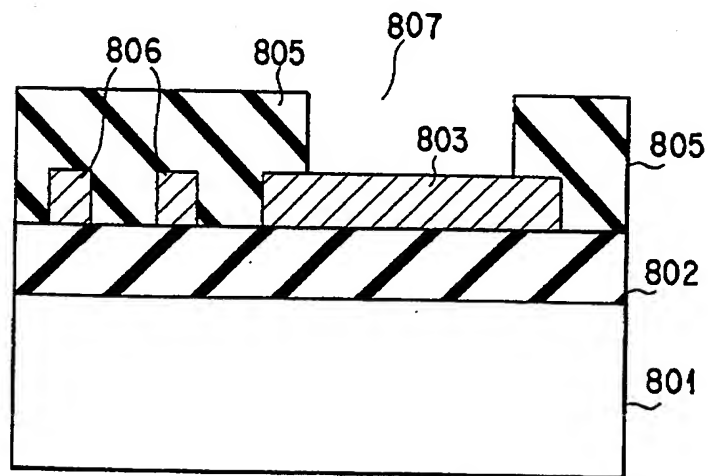


FIG. 11A

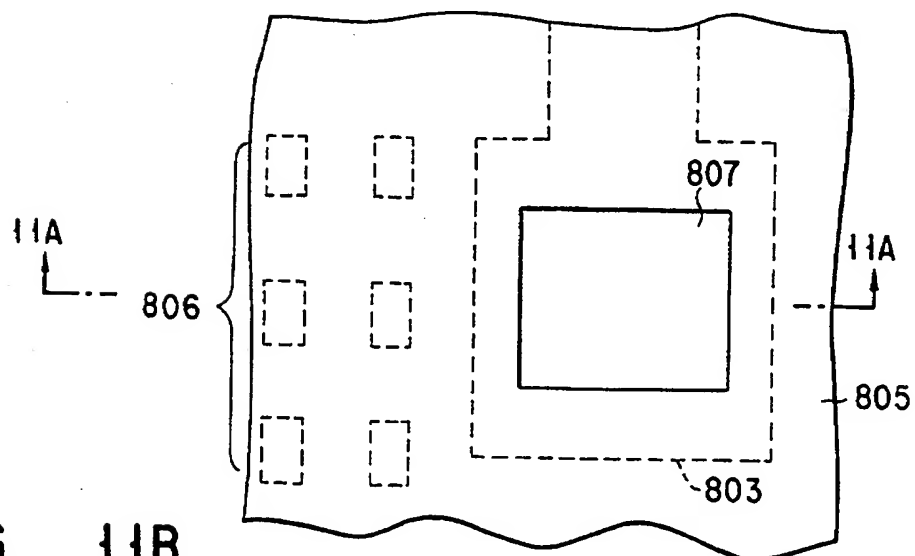


FIG. 11B